

Über tagesrhythmische Veränderungen der Atemfrequenz im Kindesalter

Rosa-Maria Krug

Aus der Kinder-Poliklinik der Universität München

Direktor: Professor Dr. med. G. Weber

Über tagesrhythmische Veränderungen der
Atemfrequenz im Kindesalter

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität
zu München



vorgelegt von
Rosa-Maria Krug
aus Scheyern

1958

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München.

Referent: Privatdozent Dr. Th. Hellbrügge
Correferent: Professor Dr. G. Weber
Dekan: Professor Dr. W. Büngeler

Tag der mündlichen Prüfung: 13. JUNI 1958

Meinen Eltern
gewidmet

INHALTSÜBERSICHT

A. Einleitung

- I. 1. Physiologie der Atmung bei Erwachsenen unter besonderer Berücksichtigung der Atemfrequenz
2. Tagesperiodische Schwankungen der Atemfrequenz bei Erwachsenen
- II. Physiologie der Atmung im Kindesalter
 1. Fetale Atembewegungen
 2. Die Entwicklung der Atemfunktion von der Geburt bis zur Pubertät unter besonderer Berücksichtigung der Atemfrequenz
 3. Allgemeine Übersicht über die Entwicklung und die Besonderheiten der kindlichen Tagesperiodik

III. Aufgabe der Arbeit

B. Untersuchungen über tagesrhythmische Veränderungen der Atemfrequenz im Kindesalter

I. Durchführung der Untersuchungen

1. Methode
2. Auswahl der Kinder
3. Untersuchungsbedingungen

II. Untersuchungsergebnisse

1. Die mittlere Tagesatemfrequenz bei den einzelnen Kindern
2. Die Atemfrequenz der einzelnen Kinder zu den verschiedenen Tagesstunden
3. Die Atemfrequenz zur Tages- und Nachtzeit
4. Die Atemfrequenz zu vergleichbaren Tagesabschnitten
5. Der Einfluß von äußeren Faktoren auf das tageszeitliche Verhalten der kindlichen Atemfrequenz

5. a) Vergleich zwischen Atemfrequenz und Schlaf-Wach-Zustand der Kinder
- b) Die Atemfrequenz bei Kindern mit normalem Tagesablauf und bei absoluter Bettruhe
- c) Die Atemfrequenz unter Einwirkung der Mahlzeiten
- d) Das Verhalten der kindlichen Atemfrequenz im Fieber

III. Erörterung der Ergebnisse

C. Zusammenfassung

D. Literaturverzeichnis

Verzeichnis. der Tabellen und Abbildungen

Tabelle I	Beobachtungsgut
Tabelle II	Mittlere Tagesatemfrequenz der untersuchten Kinder an den fortlaufenden Beobachtungstagen
Tabelle III	Schwankungen der Atemfrequenz zu den einzelnen Tagesstunden bei den untersuchten Kindern und Altersgruppen
Tabelle IV	Mittlere Atemfrequenz beider Altersgruppen zur Tages- und Nachtzeit
Tabelle V	Mittlere Atemfrequenz beider Altersgruppen zu vergleichbaren Tagesabschnitten
Tabelle VI	Mittlere Atemfrequenz-Tagwerte der untersuchten Kinder bei normalem Tagesablauf und bei absoluter Bettruhe
Abbildung 1	Tagesgang der Atem- und Pulsfrequenz bei Erwachsenen nach Hildebrandt (8)
Abbildung 2	Stundenmittelwerte der Atemfrequenz aus 112 Tagperioden von 26 Kindern (Wach-Schlafverteilung)
Abbildung 3	Tagesgang der Atemfrequenz von 7 - 21 Uhr bei Bettruhe und normalem Tagesablauf von 26 Kindern aus 112 Tagperioden
Abbildung 4	Mittlere Atemfrequenz eines 10jährigen Kindes während eines Tages und einer Nacht



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555227_0020

Alle Stoffwechselvorgänge sind notwendig an die Zufuhr von Sauerstoff gebunden und der Austausch von Sauerstoff und Kohlensäure ist im Verlaufe der Tierreihe um so komplizierter, je mehr differenziert die Art ist. Bei Säugetieren ist der Austausch der Gase an die Lungenatmung gebunden. Allerdings weist diese insofern eine Besonderheit auf, als sie erst mit der Geburt einsetzt. Demzufolge lassen sich bei der Lungenatmung nach der Geburt Reifungsvorgänge feststellen, weshalb die Atmung im Kindesalter unter besonderen Aspekten betrachtet werden muß. In der folgenden Studie sollen die Besonderheiten der Atmung im frühen Kindesalter gegenüber der der Erwachsenen hervorgehoben und durch eigene Beobachtungen über die tagesperiodischen Schwankungen der Atemfrequenz bei Schulkindern ergänzt werden.

Die Respirationsvorgänge bei Erwachsenen stellen sich nach landläufigen Schilderungen in den Physiologiebüchern (Rein (1), Landois-Rosemann (2)) wie folgt dar: Die Atembewegungen bewirken einen periodischen Wechsel zwischen Erweiterung und Verengung des Brustkorbes und damit eine fortlaufende Inspiration und Expiration. Die inspiratorische Erweiterung des Thorax geschieht hauptsächlich durch Kontraktion des Zwerchfelles (abdominelle Atmung), zum Teil aber auch durch Heben der Rippen (thorakale Atmung). Die expiratorische Verengung des Thorakalraumes vollzieht sich mit Hilfe der Atemmuskulatur und auch infolge der Elastizität der Rippen. Ex- und Inspiration sind ungefähr von gleicher Zeitdauer, sie folgen normalerweise ohne Dazwischentreten einer Pause. Die Lunge führt bei der Respiration keine aktiven Atembewegungen aus, sondern folgt passiv den Excursionen des Thorax. Bei der Frau überwiegt nach Landois-Rosemann (2) in ruhiger Atmung der thorakale, beim Mann der abdominelle Atemtypus; bei forcierter Atmung sind jedoch keine Unterschiede gegeben.

Das Zentrum für die Regulation der Atmung liegt in der formatio reticularis. Von dort werden in gleichmäßigem Wechsel rhythmische Erregungen über die Bahn der Atemnerven zu den Atemmuskeln geschickt, so daß normale regelmäßige Atembewegungen eintreten (Hess (3)). Bei der inspiratorischen Dehnung der Lungen werden die dort endenden afferenten Vagusfasern gereizt und die weitere Inspiration reflektorisch gehemmt, wodurch dann die Expiration ausgelöst wird. Eine beidseitige Vagusdurchtrennung führt nach Landois-Rosemann (2) zu einer Verlangsamung und Vertiefung der Atembewegungen. Durch die Tätigkeit des Atemzentrums wird zugleich das Atemvolumen, d. h. die Zahl und auch die Tiefe der Atembewegungen den Anforderungen des Körpers angepaßt. Der adäquate Reiz für das Atemzentrum ist die CO_2 -Spannung des Blutes. Eine Erhöhung des CO_2 -Spiegels bedeutet eine Erregung und damit

eine höhere Frequenz und eine Vertiefung der Atembewegungen. Die enge Verbindung zwischen Kreislauf und Atmung zeigt sich darin, daß bei einer Reizung der Chemorezeptoren im Carotis-Sinus-Gebiet und der Blutdruckzügler (Pressoren und Depressoren) stets auch das Atemzentrum beeinflusst wird. Nach Angaben von Landois-Rosemann (2) wird bei O_2 Mangel, bei CO_2 Überschuß (H^+ Zunahme) und bei Blutdrucksenkung das Atemzentrum erregt, während bei O_2 Überschuß, bei CO_2 Mangel (H^+ Mangel) und bei Blutdruckerhöhung das Atemzentrum gedämpft wird. Außerdem wird, wie Basler (4) schreibt: "Durch alle Einflüsse, die die Atemfunktion des Blutes behindern oder eine Reizwirkung auf das Atemzentrum ausüben, eine verstärkte Tätigkeit und eine Vertiefung der Atembewegungen bewirkt."

Auch lebhafte Gemütsbewegungen, wie Freude, Schreck oder Schmerz können reflektorisch das Atemzentrum im Sinne einer Verlangsamung oder Beschleunigung der Atembewegungen beeinflussen. Die Atembewegungen können willkürlich verändert werden, sowohl in bezug auf Frequenz als auch auf Tiefe der einzelnen Atemzüge, - als Beispiel sei hier nach Hess (3) die Phonation genannt - stets aber nur für kurze Zeitdauer entsprechend dem jeweiligen CO_2 -Gehalt des Blutes.

Die Atemfrequenz und das Atemvolumen werden vor allem durch den O_2 -Bedarf des Organismus bestimmt. Nach Beobachtungen von Gujer (5) kommt es bei einer CO_2 -Anreicherung im Blute zu einer Vertiefung der einzelnen Atemzüge, während bei O_2 -Mangel die Frequenz der Atemzüge beschleunigt wird. Die Anzahl der Atemzüge schwankt bei Erwachsenen nach Untersuchungen von Hildebrandt (6) zwischen 15-25 in der Minute, das Atemvolumen beträgt bei Erwachsenen in Ruhe je Minute 2000-5000 ccm³. Physiologische Beziehungen der Atemfrequenz sind bisher zum Alter, zum Geschlecht, zur Pulsfrequenz, zum Grundumsatz, zur Körpergröße und zum Körpergewicht aufgedeckt worden (vgl. Günther (7)). Während beim Neugeborenen die Atemfrequenz am höchsten ist, nimmt sie im späteren Kindesalter ständig ab, erreicht beim Erwachsenen im Alter von 30 Jahren das Minimum und steigt mit zunehmendem Alter wieder leicht an. Ebenso erhöht sich bei zunehmendem Körpergewicht und Körperlänge die Größe des Atemvolumens, während die Atemfrequenz entsprechend abnimmt. Nach Untersuchungen von Hildebrandt (8) treffen im Durchschnitt etwa 4 Herzschläge auf einen Atemzug. Bei der Frau pflegt die Atemfrequenz geringfügig höher zu sein als beim Mann, besonders in Ruhe. Je nach der Intensität der Verbrennungsprozesse im Organismus erfolgt eine Beschleunigung oder bei verringertem O_2 -Bedarf, z.B. im Hungerzustand und in Ruhe, eine Verlangsamung der Atembewegungen.

Außerdem ist die Atemfrequenz von verschiedenen äußeren Einflüssen abhängig. Sie wird nach Angaben von Rein (1) verändert durch die Haltung des Menschen. Die Frequenz ist im Liegen niedriger als im Sitzen oder Stehen. Bei Leistung körperlicher Arbeit steigt die Zahl der Atemzüge natürlich, denn sobald der Körper auf seine gespeicherten Blutreserven zurückgreift, setzt sofort eine Beschleunigung der Atemfrequenz ein, so daß das arbeitende Gewebe mit ausreichend beatmetem Blut versorgt wird. Die Nahrungsaufnahme scheint jedoch nach Hildebrandt (6) keinen deutlich erkennbaren Einfluß auf die Atemfolge auszuüben. Eine Erhöhung der Außen- und Bluttemperatur dagegen hat eine erhebliche Beschleunigung der Atembewegungen zur Folge. Bei Verminderung des O_2 -Partialdruckes in der Luft, z.B. in der Höhe, tritt eine Vertiefung der einzelnen Atemzüge bei gleichzeitiger Frequenzsenkung ein.

Klinisch betrachtet kann jede Form der Atemstörung eine Beschleunigung und Vertiefung der Atmung bewirken. Die Ursachen der Dyspnoe können mechanischer, hämatogener und centrogener Art sein (Landois-Rosemann (2)). Mechanische Atemhindernisse sind Stenosen, Spasmen, Ödeme oder Entzündungen der Atemorgane und Luftwege. Auch bei Erkrankungen der Abdominalorgane kann durch Behinderung der Zwerchfellatmung eine Veränderung der normalen Atmung die Folge sein. Die hämatogene bedingte Dyspnoe beruht auf einer pathologischen Veränderung der Blutzusammensetzung, einmal durch Verminderung der Alkalireserve oder vermehrte Säurebildung, zum andern infolge mangelnder O_2 -Sättigung des Blutes. Cerebrale Dyspnoe kann auftreten bei mangelnder Blutversorgung des Atemzentrums oder bei lokaler Hirnerkrankung.

Der Schlaf stellt nach Gujer (5) "einen Spezialzustand in bezug auf die Atmung dar". Im Mittelpunkt der sich mit dem Schlafe vollziehenden Umstellungen steht die herabgesetzte Erregbarkeit des Atemzentrums, die geringere Förderleistung des Herzens und die Ruhelage des Körpers. Die alveoläre CO_2 -Spannung ist erhöht und der pH-Wert des Blutes sinkt. Nach Jores (9) ist der Anstieg der alveolären CO_2 -Spannung geradezu ein Gradmesser für die Schlaf-tiefe. Die Atemfrequenz ist im Schlaf infolge der verminderten Tätigkeit des Atemzentrums und dem geringeren O_2 -Bedarf verlangsamt, das Atemvolumen dagegen relativ groß durch die während des Schlafes erfolgte CO_2 -Stauung. Je tiefer der Schlaf ist, desto langsamer und tiefer sind die Atembewegungen und um so häufiger treten expiratorische Pausen ein. Gujer (5) konnte bei Erwachsenen im Schlafe als Maximum 17, als minimale Frequenz dagegen 4,2 Atemzüge in der Minute beobachten. Der augenfällige Unterschied der Atemfrequenz zwischen Tag-Nacht-Untersuchungen wurde von Gujer (5) nur durch den nächtlichen Schlaf und den damit verbundenen Umstellungen begründet.

Nun ist aber bekannt, daß sich viele biologische Funktionen in einem 24-Stunden-Rhythmus abspielen, ja man kann sagen, daß sich nahezu jede Funk

tion in unserem Körper in rhythmischen Perioden vollzieht. Nach Untersuchungen von Hess (10) werden alle jene Funktionen, die einer Tagesrhythmik unterliegen, vegetativ gesteuert. Während bei Nacht der Parasympaticus überwiegt, herrscht bei Tag der Sympaticus vor. Nach Angaben von Jores (9) stellt nun dieser erhöhte Sympaticotonus bei Tag und der erhöhte Parasympaticotonus bei Nacht gesteuert durch Hormone des endokrinen Drüsensystems die unmittelbare Ursache der 24-Stunden-Rhythmen dar. Um zu beweisen, daß der gegebene Tag-Nach-Rhythmus nicht einfach die Ursache einer gewohnten Lebensweise und die Folge des nächtlichen Schlafes ist, führte Jores (9) Untersuchungen an einem Nachtwächter und einer Krankenschwester durch, die längere Jahre während des Tages schliefen und nachts arbeiteten. Bei diesen Untersuchungen ergab sich, daß der Grundrhythmus der einzelnen Funktionen durch eine Umkehr der Lebensweise weitgehend erhalten bleibt, eine gewisse Abhängigkeit von äußeren Faktoren jedoch gegeben sei. Jores (9) spricht daher von "echten 24-Stunden-Rhythmen", den von Ruhe, Schlaf und Bewegung unabhängigen Tagesperioden. Er zählt jedoch Rhythmen, die an den Schlaf gekoppelt sind zu den zyklischen Vorgängen, "denn unter den Bedingungen des täglichen Lebens folgen sie demselben steten Wechsel wie jeder echte Rhythmus und zeigen auch die Bindung an die jeweilige Tageszeit". In einzelnen sind nun vielfach Untersuchungen über die Beziehungen der Organfunktionen zum 24-Stunden-Rhythmus ausgeführt und der Beweis einer strengen Tagesperiodik für viele Funktionen erbracht worden.

Der an dieser Stelle im besonderen interessierende Tagesgang der Atemfrequenz wird erstmals von Jores (9) im Zusammenhang mit anderen rhythmischen Funktionen erwähnt. Jores (9) schreibt: "Da die Atmung in höherem Maße der Willkür unterstellt ist, wird es unmöglich sein festzustellen, ob eine Änderung der Atmung in der Nacht ein echter Rhythmus oder eine Folge des Schlafes ist. Letzteres scheint wahrscheinlicher. Da Schlaf mit dem Schlaf eine Änderung des Atemzentrums vollzieht. Die Frage, ob es einen echten Rhythmus in der Atmung gibt, muß daher offen bleiben". Eine Koppelung der Atemfrequenz an "echte tagesrhythmische" Vorgänge wie das Wachen-Schlafen und die Körpertemperatur sei jedoch gegeben.

Nach Untersuchungen von Völker (11) besteht nicht nur eine echte tagesperiodische Veränderung der Körpertemperatur sondern an allen von ihm untersuchten Lebewesen: "sei auch bei der ~~Atmungs~~ Atmung, dem Blutdruck, dem O_2 -Verbrauch, der Atmung und der Nierensekretion das gleiche Verhalten zu beobachten."

Auch Menzel (12) hat verschiedene Funktionen auf einen etwaigen gleichsinnigen Verlauf der Rhythmuskurven innerhalb von 24 Stunden untersucht

und dabei den tageszeitlichen Verlauf der Atemfrequenz mitberücksichtigt. Im einzelnen wurden an gesunden und kranken Erwachsenen 300 Rhythmusuntersuchungen durchgeführt und zwar derart, daß 24 Stunden lang in 2-3ständlichen Intervallen die jeweiligen Werte der einzelnen Funktionen gleichzeitig registriert wurden. Zur Beobachtung gelangten: Pulsfrequenz, Blutdruck, Atemfrequenz, Vitalkapazität, Rektaltemperatur, Bluttrockenrückstand und Beinumfang. Bei Gesunden herrschte gleichsinniger Verlauf der meisten Funktionen, so daß Maxima und Minima auf dieselben Tageszeiten zu liegen kamen. Die Zeit der maximalen Werte lag in den frühen Morgenstunden, ein zweiter Gipfel fand sich in den späten Nachmittags- und Abendstunden. Die niedrigsten Werte wurden stets nach Mitternacht beobachtet, während in den Morgenstunden, noch im Schlafe, die Werte bereits wieder anstiegen. Diesen für alle untersuchten Funktionen gültigen Tagesschwankungen unterliegt auch die Atemfrequenz, wie die folgende Tabelle von Menzel (12) zeigt, in der Schwankungen der Atemfrequenz bei einem 57jährigen Mann innerhalb von 24 Stunden bei völliger Bettruhe festgehalten sind.

Uhrzeit	12	15	18	21	24	3	6	9
Atemfrequenz/ min.	10	10	10	9	10	10	10	11

In einer weiteren Beobachtungsreihe hat Menzel (13) dann Untersuchungen bei Erwachsenen mit normalem Tagesablauf durchgeführt, d. h. die untersuchten Personen waren tagsüber nicht bettlägerig, die Bewegungsfreiheit wurde nicht eingeschränkt und die Nahrungsaufnahme nicht modifiziert.

Der tagesrhythmische Verlauf der Funktionen war bei dieser Versuchsanordnung im Vergleich zur ersten Beobachtungsreihe nicht verändert, die einzelnen Werte lagen jedoch höher, Maxima und Minima traten stärker hervor. Menzel (13) spricht sogar von einem deutlicher markiertem Rhythmus bei normalen Tagesverlauf, wohl infolge der einwirkenden Umwelteinflüsse. Dies geht aus folgender Tabelle hervor, die Schwankungen der Atemfrequenz bei einem 19jährigen Mann innerhalb von 24 Stunden bei normalem Tagesablauf nach Menzel (13) zeigt.

Uhrzeit	12	15	18	21	24	3	6	9
Atemfrequenz/min.	22	18	20	22	16	15	16	18

Bei der Betrachtung der beiden Tabellen, insbesondere der zweiten wird die tagperiodische Veränderung der Atemfrequenz deutlich. Der erhebliche Unterschied der beobachteten Werte bei normalem und modifiziertem Tagesablauf zeigt, daß die Atemfrequenz auch als rhythmische Funktion vielen anderen Einflüssen unterliegt, obwohl die Differenz natürlich nicht eindeutig auf den veränderten Tagesablauf zurückzuführen ist, da die beobachteten Werte von verschiedenen Personen stammen.

Genaue und umfassende Untersuchungen über den Tagesgang der Atemfrequenz beim Erwachsenen sind aber erst von Hildebrandt (6) in seinen Arbeiten über "Den Tagesgang der Atemfrequenz" und über "Die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atmung" bekannt geworden.

Die Beobachtungen über den 24-Stundenrhythmus der Atemfrequenz wurden an 13 bettlägerigen gesunden Erwachsenen in insgesamt 18 Tagesverläufen 1-2stündlich, zum Teil einfach durch Beobachtung der Atemexcursionen am Thorax, zum Teil mit Hilfe eines Oszillographen durchgeführt. Die Versuche erstreckten sich pro Person jeweils über 25 Stunden von 15-15 Uhr des folgenden Tages. Hildebrandt (6) bezeichnet die Stunden um 15 und 3 Uhr als "die Wendestunden des biologischen Tages" und teilt die Zeit von 15-3 Uhr in eine Nachmittagsphase, die von 3-15 Uhr in eine Vormittagsphase.

Die gewonnenen Ergebnisse gliedert Hildebrandt (6) nach der unterschiedlichen absoluten Höhe der Atemfrequenz in 3 Gruppen. Die Werte der zweiten Gruppe mit einem Tagesmittel von 15-20/min. werden von Hildebrandt (6) als Norm bezeichnet, während die Tagesmittel der ersten Gruppe mit 18-24/min. und die der dritten Gruppe mit 10-14/min. als konstitutionelle Varianten aufzufassen seien. Gemeinsam für alle Gruppen sei jedoch der weitgehend gleichsinnige tagesrhythmische Verlauf der Atemfrequenz.

Eine nähere Betrachtung der Untersuchungsergebnisse von Hildebrandt (6) ergibt nun folgendes. Allgemein nimmt die Atemfrequenz während der Nachmittagsphase stetig ab, erreicht gegen 3 Uhr den niedrigsten Wert und steigt in der folgenden Vormittagsphase wieder gleichmäßig an. Die höchsten Werte fallen in die Zeit um 15 Uhr. Es zeichnen sich aber auch im rhythmischen Tagesgang ähnlich wie bei der absoluten Höhe der Atemfrequenz individuelle und konstitutionelle Besonderheiten ab. So konnte Hildebrandt (6) bei einigen untersuchten Personen morgens nach dem Erwachen, etwa zwischen 6 und 8 Uhr einen sprunghaften Anstieg der Atemfrequenz beobachten, der sich in einer weiteren erhöhten Frequenz in den Vormittagsstunden fortsetzte. Bei diesem Kurvenverlauf lagen die maximalen Werte oft schon in den Mittagsstunden zwischen 11 und 13 Uhr. Die maximalen Werte zeigten überhaupt die größten Varianten, sowohl in bezug auf die absolute Höhe (13,4-25/min.) als auch in der breiten

zeitlichen Streuung. Teilweise waren wie oben geschildert die Maxima um einige Stunden vorverlegt, zum Teil erfolgte nach 15 Uhr noch ein weiteres Ansteigen der Atemfrequenz bis in die späten Abendstunden. Mit dem Eintritt des Schlafes aber erfolgte stets bei allen Personen eine erhebliche Verlangsamung der Atembewegungen. In einigen Fällen wurde schon bald nach dem Finschlafen das Minimum erreicht, die Frequenz blieb dann kontinuierlich während der ganzen Nacht auf diesen niedrigen Werten, eine besondere Senke gegen 3 Uhr konnte in diesen Fällen nicht beobachtet werden. Bei den übrigen untersuchten Personen wiesen die Werte und auch der rhythmische Gang der Atemfrequenz im nächtlichen Schlaf keine sehr großen Variationen auf. Die niedrigsten Werte (7,4 15,6) wurden fast immer zwischen 3 und 5 Uhr gefunden. Ein besonderer Einfluß der Nahrungsaufnahme auf die Häufigkeit der Atembewegungen wurde nicht bemerkt.

Um Unterschiede zu anderen tagesperiodischen Funktionen feststellen zu können, hat Hildebrandt (8) in einer weiteren Beobachtungsreihe bei gleichen Versuchsbedingungen Untersuchungen über die Funktionsordnung von Puls und Atmung durchgeführt.

Die folgende Abbildung zeigt den Tagesgang der Puls- und Atemfrequenz von 21 Tagesperioden bei 14 bettlägerigen Erwachsenen nach Hildebrandt (8).

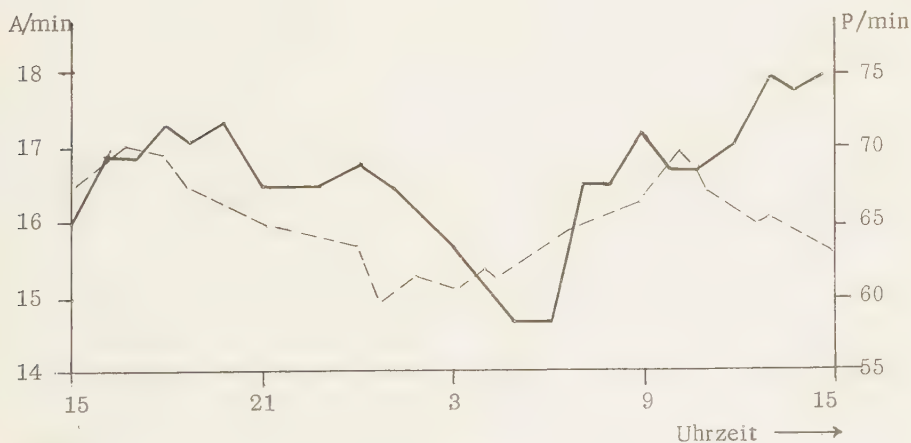


Abb. 1

———— = Atemfrequenz, - - - - - = Pulsfrequenz

Wie die Abbildung zeigt, besteht ein annähernd gleichsinniger Verlauf zwischen dem Tagesgang der Atem- und Pulsfrequenz. Für beide Funktionen gilt, daß die Werte während des nächtlichen Schlafes absinken, zwischen 3 und 6 Uhr das Minimum aufweisen und in den folgenden Vormittagsstunden ansteigen, bis sie gegen 15 und 19 Uhr die höchsten Werte erreichen. Die Tagesschwankungen der Pulsfrequenz zeigen einen langwelligen, gleichmäßig auf- und absteigenden Kurvenverlauf mit einer relativ kleinen Amplitude. Im Unterschied dazu stellen sich die Tagesschwankungen der Atemfrequenz in einer unruhigen, häufig auf- und absteigenden Kurve dar, was gerade durch die oft sprunghaften Veränderungen zum Zeitpunkt des Erwachens bzw. des Einschlafens zum Ausdruck kommt. Die Amplitude ist hier entsprechend größer. Den Grund für die Abweichungen der beiden Rhythmuskurven sieht Hildebrandt (6, 8) darin, daß die Atemfrequenz in weit höherem Grade von Umwelteinflüssen und dem "individualisierenden Einfluß des Wachbewußtseins" abhängig sei als die Pulsfrequenz.

Aus den Untersuchungsergebnissen beider Beobachtungsreihen (6, 8) geht jedoch nach Hildebrandt (6, 8) deutlich hervor, daß "die Atemfrequenz als rhythmische Funktion in ihrem grundsätzlichen Verlauf einen absoluten und selbständigen Wert besitzt und offenbar streng an den übergeordneten Tagesrhythmus gebunden ist".

Zusammenfassend gaben wir einen Überblick über die Physiologie der Atmung beim Erwachsenen unter besonderer Berücksichtigung der Atemfrequenz und deren tagesrhythmischen Verlauf. In der folgenden Studie sollen nun die Besonderheiten der kindlichen Atmung gegenüber der der Erwachsenen hervorgehoben und einer näheren Betrachtung unterworfen werden.

Während der Erwachsene stets in der Lage ist die Atmung den jeweiligen Anforderungen anzupassen und die Menge der eingeatmeten Luft durch die Tiefe und Häufigkeit der Atemzüge zu regulieren, liegen die Verhältnisse der Atmung beim Kind noch anders, wobei besonders Unterschiede in den einzelnen Atemstufen zu verzeichnen sind.

Mit oder kurz nach der Geburt setzen die regelmäßigen Atembewegungen des Kindes ein. Doch können schon intra-uterin beim Feten gewisse, dem Atemmechanismus ähnliche Atembewegungen beobachtet werden. Nach den Ausführungen von Smith (14) folgerten dies Beclard (15) 1813, Weber (16) 1888 und Ahlfeld (17) 1905 zuerst aus der Tatsache, daß sie bei sehr vielen Früh- und Todgeborenen Fruchtwasser in der Lunge und in den Atemwegen vorfanden. Die Beweise dieser Annahme erbrachten Ehrhardt (18) und Reiffen-scheid (19) 1939. Sie injizierten in das Amnionwasser Röntgenkontrastmittel, die sie röntgenologisch sowohl intra-uterin, als 24 Stunden später nach der Geburt

beim lebenden Neugeborenen in der Lunge und in den Atemwegen nachweisen konnten. Es blieb aber offen, ob solche Bewegungen einen normalen und konstanten physiologischen Vorgang im Leben des Feten darstellen. Die Antwort auf diese Frage erbrachte Becker (20), der in einer Reihe ähnlicher Tierversuche nur bei artifizieller Unterbindung der O_2 -Zufuhr von seiten der Mutter Atembewegungen des Tierfeten beobachten konnte. Fetale Atembewegungen scheinen demnach nur gelegentlich und vor allem bei Störungen der O_2 -Versorgung oder bei CO_2 -Stauung aufzutreten. Eastman (21) vertritt die Ansicht, daß der Fetus, so lange der CO_2 - und O_2 -Spiegel im fetalen Blut nur geringfügig höher ist als im mütterlichen Blut, keine Atembewegungen durchführt. Sobald sich aber die Differenz in der CO_2 - und O_2 -Sättigung zwischen mütterlichem und fetalem Blut vergrößert, wie das bei Störungen der O_2 -Versorgung oder der CO_2 -Abtransportation von seiten der Mutter (z. B. in Narkose), bei Placenta- und Nabelschnurschäden oder auch physiologisch während der Geburt der Fall ist, setzen beim Feten sofort eigene Atembewegungen ein.

Über die Folgen der intra-uterinen Atmung gehen die Meinungen der einzelnen Autoren auseinander, denn unzweifelhaft aspiriert der Fetus bei jedem Atemzug eine Menge Fruchtwasser, das Lunge, Nase und Mund füllt. Reiffenscheid (19) nimmt an, daß ein ständiger oder reflektorischer Verschuß der Epiglottis die Lungen des Feten während der Schwangerschaft vor dem Eindringen des Amnionwassers schützt. Becker (20) dagegen vermutet, daß das eingeatmete Amnionwasser dazu beiträgt die Atemwege auszudehnen und die genauere Struktur der Alveolen auszubilden. Er fand in 209 von 212 untersuchten Lungen des Neugeborenen aspiriertes Fruchtwasser. Nach den Ausführungen von Smith (14) bedeutet das Vorhandensein von Amnionwasser in den Alveolen zur Zeit der Geburt insofern eine Erleichterung, da für das Neugeborene eine geringere Kraftanstrengung notwendig ist, die schon durch das Fruchtwasser ausgedehnten Alveolen in luftgefüllte Organe zu verwandeln, als die gänzlich kollabierten und zum Teil verklebten Alveolen bei den ersten Atemzügen völlig zu entfalten. Das in den Alveolen vorhandene Amnionwasser wird dabei nach Angaben der Autoren nach der Geburt weitgehend ausgehustet und in geringem Maße resorbiert.

Das wichtigste physiologische Problem des fetalen Respirationstraktus aber bleibt die Entfaltung der Lungen mit Luft während der Geburt. Die mangelnde O_2 -Versorgung und die CO_2 -Anreicherung des Blutes während der Geburt führen zur Erregung des Atemzentrums und der Chemorezeptoren im Carotis-Sinus-Gebiet und damit zur Auslösung des ersten Atemzuges. Diesen ersten Atemzügen setzen sich aber erhebliche Schwierigkeiten entgegen. Nach Angaben von Smith (14) sind zu der Zeit, in der das Kind den Geburtskanal verläßt die Lungen feucht, mehr oder weniger kollabiert und ihre Lufträume enthalten Wasser. Sie liegen in einem schlaffen, atonischen Thorax, verwandeln sich aber in

verhältnismäßig kurzer Zeit in spannkraftige, luftgefüllte Organe. Diese Entfaltung der Lungen vollzieht sich mit Hilfe aller Inspirationskräfte, die dem Kind zur Verfügung stehen: Den Rippen, dem Sternum, den Intercostalmuskeln und dem Zwerchfell. Diese Kräfte erzeugen einen Unterdruck in den geschlossenen, leeren Pleuraspalten und üben damit einen kräftigen Zug auf die Oberflächen der Lungen aus.

Diesem Zug aber setzen die Lungen des Neugeborenen einen erheblichen Widerstand entgegen, einmal durch das elastische Gewebe und die glatte Muskulatur des Lungenparenchyms und zum anderen durch die Kohäsion der feuchten Oberfläche und den wassergefüllten Zwischenräumen des gesamten Bronchial- und Alveolar-Systems. Es wird daher verständlich, daß die ersten Atemzüge des neugeborenen Kindes sehr kurze und heftige Atemstöße darstellen, die unter Aufbietung aller Kräfte durchgeführt werden. Nach Messungen von Smith (14) überwindet das Kind dabei einen Unterdruck von 40-50 cm Wassersäule. In den folgenden Tagen nach der Geburt zeichnet sich die Atmung durch häufige und oberflächliche Atembewegungen aus. Regelmäßige Atemperioden wechseln mit unregelmäßigen ab und erst nach etwa einer Woche setzen nunmehr stetige und rhythmische Atembewegungen ein.

Die Verhältnisse der Atmung im Säuglings- und frühen Kindesalter ändern sich je nach den physiologischen Gegebenheiten des Thorax und der Inspirationsorgane, besonders beim Säugling ist die Atemmechanik von den anatomischen Gegebenheiten abhängig. Nach Engel (22, 23) und Püschel und Brock (24) müssen hierbei folgende Besonderheiten berücksichtigt werden. Die Rippen des jungen Säuglings stehen nahezu horizontal, die oberen sogar ein klein wenig aufwärts, so daß sie sich kaum an der Erweiterung des Thorakalraumes beteiligen können. Deshalb ist in diesem Lebensabschnitt eine Rippenatmung fast unmöglich und die Atmung ist auf die Tätigkeit des Zwerchfelles angewiesen. Dem Tiefertreten des Zwerchfelles setzen aber die Abdominalorgane, die große Leber und der durch das große Nahrungsvolumen oft stark gefüllte Magendarmkanal, bei der horizontalen Körperlage einen besonderen Widerstand entgegen. Auch die respiratorische Oberfläche der Lungen ist beim jungen Säugling relativ klein und die Alveolen oft noch nicht genügend entfaltet. Andererseits nimmt das Herz im Thorax des jungen Säuglings einen unverhältnismäßig großen Raum ein, was der Entfaltungsmöglichkeit der Lungen enge Grenzen setzt. Dazu kommt nach Püschel und Brock (24), daß die normale Nasenatmung des Säuglings erschwert ist wegen des engen und oft durch Katarrh verschwollenen Nasenrachensraumes.

Es ist begreiflich, daß diese Beschränkungen die Atemfunktion beeinflussen und mit gewissen Eigentümlichkeiten der frühkindlichen Atmung in enger Beziehung stehen. Die Atmung des Säuglings zeichnet sich durch sehr flache und

frequente Atembewegungen aus. Da die Atemtiefe normalerweise sehr gering ist und auch bei erhöhtem O_2 -Bedarf nicht wesentlich vertieft werden kann, ist eine Befriedigung des O_2 -Bedarfes nur durch eine weitere Steigerung der ohnehin hohen Atemfrequenz möglich. Engel (22, 23) spricht daher davon, daß sich "der Säugling gewissermaßen in einem Zustand dauernder physiologischer Ateminsuffizienz befindet". Erst wenn sich im 6.-7. Lebensmonat die Rippen gesenkt haben, tritt nach Engel (22, 23) und Püschel und Brock (24) eine fühlbare Erleichterung der Atemverhältnisse ein und es kann nun ein thorakoabdomineller Atemtypus beobachtet werden. Damit wird eine größere Vertiefung der Atmung bei gleichzeitiger Frequenzverminderung möglich.

In den folgenden Jahren erfolgt die Umwandlung des kindlichen Atemtypus zu dem des Erwachsenen. Diese Umwandlung erfolgt jedoch nicht gleichmäßig. Nach Engel (22) müssen hierbei folgende Besonderheiten berücksichtigt werden. Da Längen- und Massenwachstum nicht immer parallel gehen und auch im Wachstum von Lunge und Thorax oft ein Mißverhältnis besteht, kann dies vorübergehend, besonders im frühen Kindesalter, zu minder guten Leistungen in bezug auf die Atemfunktion führen. Dies wird um so deutlicher, als mit steigender körperlicher Beweglichkeit auch die Anforderungen an die Atmung größer werden. Eine Dissonanz zwischen Bedarf und Leistung in der Luftzufuhr tritt daher am ehesten zu der Zeit ein, zu der der Säugling nach seinem bisher ruhigen Dasein zu laufen beginnt, etwa im 1. bis 2. Lebensjahr. Dieser ungünstige Zustand ändert sich aber sehr rasch, sobald das Kind beim Laufen eine aufrechte Körperhaltung einnimmt. Denn nach Gregor (25) werden "bei der Verlegung der Schwerewirkung in die cephalo-caudale Richtung" für die Entwicklung der thorakalen Atmung weit günstigere Verhältnisse geschaffen. Der jetzt nach unten gerichtete Zug der Abdominalorgane unterstütze außerdem die inspiratorische Kontraktion des Zwerchfelles und wirke daher im Sinne einer Atemvertiefung. Die Entwicklung einer thorakalen Atmung gelte besonders für Knaben, während bei Mädchen noch längere Zeit die abdominelle Atmung überwiege. Im späteren Kindesalter werden die anatomischen und damit auch die physiologischen Bedingungen für die Atemfunktion immer günstiger, der Atemtypus des Kindes nähert sich stetig dem des Erwachsenen.

Gregor (25) hat versucht, diese Entwicklungsvorgänge der kindlichen Atmung von der Geburt bis zur Pubertät in vier Stadien einzuteilen.

Danach hat das Kind im ersten Lebenshalbjahr, selbst im Schlaf, eine auffallend frequente Atmung. Da jedoch die Atemfrequenz ohne Schwierigkeit auf das Doppelte erhöht werden kann, bleibt die Atemfunktion des Säuglings auch bei gesteigerter Anforderung sehr leistungsfähig. Gregor (25) spricht darum von einer "frequenten Atmung von großer Aktionsfreiheit", wobei er unter "Aktionsfreiheit" den Abstand zwischen höchstem und niedrigstem Wert versteht, den die

Atmungsgröße bei Kindern gleichen Alters bei einer mehrere Minuten fortgesetzten ruhigen Atmung aufweisen kann.

Im weiteren Entwicklungsstadium bis zum zweiten Lebensjahr erfolgt eine allmähliche Vertiefung der Atembewegungen, die Frequenz kann nicht mehr in so hohem Grade variiert werden wie bisher. Gregor (25) bezeichnet dieses Stadium als "frequente Atmung von geringer Aktionsfreiheit".

Vom 3. bis 7. Lebensjahr nimmt die Atemfrequenz weiter ab, die Tiefe der Atemzüge jedoch stetig zu. Das Kind ist nun schon in der Lage, die Tiefe und Häufigkeit seiner Atembewegungen den gestellten Anforderungen anzupassen. Nach Gregor (25) erfolgt nun die "Entwicklung einer großen Aktionsfreiheit auf der Basis einer stark verlangsamten, vertieften Atmung".

Im 8. bis 14. Lebensjahr erfolgt eine weitere Einschränkung der Atemfrequenz bei erheblicher Vertiefung der einzelnen Atemzüge. Gregor (25) bezeichnet dieses Stadium als "geringe Aktionsfreiheit, weitere erhebliche Verminderung der Arbeitsleistung durch Vertiefung der Atmung".

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich die Atemregulation des Kindes in den verschiedenen Altersstufen ändert und große Variationsmöglichkeiten in der Kombination von thorakaler und abdomineller Atmung zeigt. Dadurch wird das heranwachsende Kind befähigt, die Leistungen seiner Atemmechanik mit den vorhandenen Mitteln und den äußeren Lebensbedingungen in Einklang zu bringen.

Weiterhin wird die kindliche Atemfunktion noch von anderen, speziell für das Kindesalter geltenden Faktoren bestimmt. Einen wichtigen Faktor bildet der vermehrte O_2 -Bedarf des Kindes. Denn nach Engel (23) verbraucht das Kind mehr O_2 pro Kilo der Körperoberfläche als der Erwachsene. Dieser hohe O_2 -Bedarf wird einmal durch die "Quecksilbrigkeit" des Kindes und zum andern durch das schnelle Wachstum und die ständige Gewichtszunahme verursacht. Nach Feer (26) erfordert deshalb der große Verbrennungsstoffwechsel im Kindesalter einen raschen O_2 - und CO_2 -Austausch und damit eine Vermehrung der Respiration.

Smith (14) hat über die Größe des Luftwechsels beim Neugeborenen und jungen Säugling Untersuchungen angestellt und die gewonnenen Ergebnisse im Vergleich zu den bekannten Atemvolumswerten des Erwachsenen gesetzt. Dabei stellte er fest, daß die Menge der eingeatmeten Luft im Verhältnis zum Körpergewicht beim Säugling etwa $2\frac{1}{2}$ mal so groß war wie beim Erwachsenen. Die Höhe dieses Minutenvolumens erzielt der Säugling mehr durch eine unverhältnismäßig frequente als durch eine besonders tiefe Atmung. Mit zunehmendem Kindesalter verändert sich jedoch das Verhältnis zwischen Atemvolumen und Atemfrequenz. Denn nach Püschel und Brock (24) werden die Atemvolumina nicht

nur durch Gewichtswachstum und Stoffwechselhöhe bestimmt, sondern entscheidend durch einen dritten Faktor, die Atemfrequenz. Gewichtswachstum und Stoffwechselhöhe würden ein allmähliches Anwachsen der Atemfrequenz auf das Zehnfache bewirken, da aber gleichzeitig die Atemfrequenz beim älteren Kind auf etwa ein Drittel absinkt, steigt das Atemvolumen des einzelnen Atemzuges von der Geburt bis zur Reife auf ungefähr das 30fache an.

Die Höhe der kindlichen Atemfrequenz wird aber außer dem durch den erhöhten Stoffwechsel vermehrten O_2 -Bedarf noch von anderen ex- und endogenen Einflüssen bestimmt. So stellt nach Vormittag (27) die Abhängigkeit der kindlichen Atmung von der altersgemäßen Konstitution und dem psychischen Verhalten eine besondere Eigentümlichkeit dar. Er schreibt: "Ein Hauptzeichen der kindlichen und vor allem der Säuglingsatmung ist die leichte Beeinflussbarkeit, die sich in unregelmäßiger Atmung und in hoher Atemfrequenz äußert; je jünger das Kind, um so ausgeprägter ist diese Erscheinung." Man bekomme deshalb auch in scheinbar ruhiger Umgebung sowohl vom wachenden als vom leicht schlafenden Kind oft unregelmäßige Werte der Atemfrequenz und erst während des ganz tiefen Schlafes falle die Reaktion auf derartige nicht ohne weiteres nachweisbare Reize fort. Auch andere Autoren wie Püschel (28) und Fanconi-Wallgren (29) betonen, daß der psychische Unterbau der Atemfunktion, besonders beim jüngeren Kind, unbestritten sei und daß sich dieser Einfluß in einer unregelmäßigeren und häufigeren Atmung, auch während des Schlafes, äußere. Kirchhoff (30) dagegen sieht eine Ursache für diese ausgeprägte Labilität der kindlichen Atmung darin, daß die funktionelle Steuerung und Regulation des Kreislaufes und damit auch der Atmung, im Kindesalter wesentlich stärker vom vegetativen System abhängig sei als im späteren Alter. Deshalb sei auch die Schwankungsbreite der verschiedenen Funktionen so groß, daß sich befriedigende Werte nur unter Berücksichtigung von Lebensalter und Reifungszustand aufstellen ließen.

Die übrigen Faktoren, die die Atemfrequenz beeinflussen, werden nach Püschel (28) am besten in folgenden Punkten zusammengefaßt: "1. Die Körperhaltung (Sitzen und Stehen erhöht die Atemzahl), 2. Die Nahrungsaufnahme, 3. Der Schlaf, 4. Das Fieber, 5. Die Außentemperatur, 6. Längeres Schreien vermindert die Atemzahl."

Eine gewisse Sonderstellung nimmt noch die Atemfunktion des Frühgeborenen ein. Während die Atemmechanik im Vergleich zum Neugeborenen nicht bedeutend verändert ist, bedingt nach Beobachtungen von Deming und Hanner (31) einmal die ungenügende Entwicklung der Alveolen und zum anderen die geringere Erregbarkeit des Atemzentrums bei der Mangelgeburt eine unregelmäßigere, zumeist jedoch frequentere Atmung. Rominger und Eckstein (32) dagegen führen die auffallend frequente Atmung bei Frühgebo-

renen auf einen erhöhten Stoffwechsel zurück. Auch Smith (14) weist auf die bedeutend höhere Atemfrequenz bei Frühgeborenen hin.

Über die Höhe der kindlichen Atemfrequenz in den einzelnen Altersstufen liegen nun eine Reihe von Untersuchungen vor, die in ihren Ergebnissen zum Teil nicht unerheblich differieren. Auf Grund der inter- und intraindividuellen Schwankungen sind fast alle Autoren der Auffassung, daß man wegen der beträchtlichen Differenzen keine allzu großen Schlüsse aus der jeweiligen Atemzahl pro Minute ziehen könne. Außerdem habe nach Püschel (28), Vormittag (27) und Vogt (33) die bei den Untersuchungen verwendete Apparatur einen gewissen Einfluß auf die Höhe der Atemzahl. Übereinstimmend sind die Angaben über die zunächst hohe Atemfrequenz im Säuglingsalter und das gleichmäßige Abnehmen der Frequenz mit zunehmendem Kindesalter. Ein deutlicher Unterschied zwischen den beim wachenden oder schlafenden Kind beobachteten Atemzahlen wird nur von manchen Autoren hervorgehoben.

Gregor (25) faßte das Ergebnis seiner Beobachtungen hinsichtlich der Atemfrequenz wie folgt zusammen: "Bei ruhiger Atmung in Rückenlage, in wachem oder schlafendem Zustand, kommt im Säuglingsalter eine mittlere Atemfrequenz unter 20/min. in der Regel nicht zur Beobachtung. Die gewöhnliche Atmung der Säuglinge hat eine Frequenz von 20-60/min., die des älteren Kindes bis zu 6 Jahren eine solche von 20-30/min., während später vorwiegend noch niedrigere Werte vorkommen." Während Gregor (25) die Atemwerte der einzelnen Altersstufen nur in groben Umrissen angegeben hat, liegen von anderen Autoren nähere Untersuchungen über die Höhe der Atemfrequenz von der Geburt bis zur Pubertät vor.

Smith (14) beobachtete bei 9 Frühgeborenen mit einem Gewicht von 1077-2300 g eine durchschnittliche Atemzahl von 58/min. mit Extremwerten von 31-114/min. Eckstein und Rominger (32) geben dagegen bei zwei untersuchten Frühgeborenen mit einem Alter von drei Tagen (1100 g) und 2 1/2 Monaten (2140 g) eine Durchschnittszahl von 65 und 45/min. an, beobachtete Extremwerte 136.

Die bei 18 Neugeborenen durchgeführten Untersuchungen von Deming und Hanner (34) ergeben folgende Mittelwerte der Atemfrequenz.

Alter in Tagen	Extremwerte	Mittelwerte	
1	27 - 82	41	Atemfrequenz/min.
2	27 - 82	43	
3	23 - 66	40	
5	25 - 70	41	

7	28 - 59	44
9	32 - 80	49
11	32 - 72	46

Vormittag (27), der bei 125 Kindern im Alter von 6 Stunden bis zu 15 Jahren die Häufigkeit der Atembewegungen beobachtete, gibt eine sehr große Schwankungsbreite der einzelnen Atemwerte an. Sowohl innerhalb der verschiedenen Altersklassen, als auch bei ein und demselben Kind seien während wiederholter Versuche höchst unterschiedliche Werte ermittelt worden, deren Ursache aber wie Vormittag (27) angibt, auf den wachen oder schlafenden Zustand der Kinder zurückzuführen sei. Die folgende Tabelle gibt die Mittelwerte der Atemfrequenz von 125 untersuchten Kindern im Alter von einem Tag bis zu 15 Jahren nach Vormittag (27) wieder.

Alter	Extremwerte	Mittelwerte
1. - 7. Tag	72 - 22	35,0 Atemfrequenz/min.
8. - 28. "	71,5 - 22	37,7
1. - 6. Monat	58 - 21	33,3
6. - 24. "	48 - 19,5	37,3
2. - 5. Jahr	40 - 21	26,5
5. - 10. "	31 - 15	20,4
10. - 15. "	31 - 14	19,1

Während alle Autoren bisher keine näheren Angaben darüber machten, ob die Atemwerte während des Schlafes oder im wachen Zustand ermittelt wurden, beachtete Vogt (33) bei seinen Untersuchungen einen genauen Unterschied zwischen Werten, die bei wachen oder schlafenden Kindern gewonnen wurden. Er schreibt: "Bei ungestörtem Schlaf konnte ausnahmslos festgestellt werden, daß die Atemzahl allmählich absank, um nach einer gewissen Zeit, offensichtlich nach Überschreitung der größten Schlafentiefe wieder höhere Werte anzunehmen. Bei unseren Versuchen sanken die Atemzahlen immer schrittweise ab, um im tiefsten Schlaf die niedrigsten Werte anzunehmen." Die Atemfrequenz ist nach den von Vogt (33) angegebenen Werten bei den Kindern aller Altersstufen im Schlaf niedriger, ebenso kann man deutlich den Unterschied zwischen den Tag- und Nachtwerten erkennen, wie die folgende Tabelle zeigt. Die Tabelle gibt die Mittelwerte der Atemfrequenz von 99 untersuchten Kindern im Alter von einem Tag bis zu 12 Jahren nach Vogt (33) wieder.

Alter	Atemfrequenz/min.		
	Wach	Schlaf	Tiefschlaf
1 Tag		27 - 48	
3 Tage		29 - 41	
5 "		38	
7 "		26 - 44	
18 " 30 - 38		34	
3 Wochen		33 - 37	
7 "		35	
2 Monate 34			
3 " 32		31 - 32	
4 "		25 - 29	
5 " 27		21	
1 Jahr 25		19 - 23	
2 Jahre 24		23	22
3 " 28		28	27
4 " 24 - 28		24 - 28	18 - 21
5 " 24		24	
6 " 23 - 25		23 - 26	
7 " 18 - 25		18 - 25	
8 " 22		22	
9 " 22 - 26		22 - 26	21
10 " 16 - 24		16 - 24	17
11 " 19		16 - 17	
12 " 23		19 - 21	17 - 19

Betrachtet man die vorliegenden Befunde im Zusammenhang, so fällt auf, daß keiner der Autoren Angaben gemacht hat, zu welcher Tagesstunde die Atemzahlen ermittelt wurden. Nun ist aber bekannt, daß viele physiologische Funktionen des Organismus auch im Kindesalter eine bestimmte Abhängigkeit von der Tageszeit erkennen lassen.

Über die Entwicklung und die Besonderheiten des tagesrhythmischen Verlaufes einzelner Organfunktionen im Kindesalter wurden von verschiedenen Autoren nähere Untersuchungen durchgeführt. So berichtet Jundell (35) erstmals, daß die Tagesschwankungen der Körpertemperatur von den ersten Lebenstagen bis zum ersten Lebensjahr ständig zunehmen, ebenso vergrößert sich mit fortschreitendem Kindesalter die Differenz der Tag-Nachtwerte. Kleitmann (36) dagegen, der ebenfalls in fortlaufenden Untersuchungen die kindlichen Tagesschwankungen

kungen der Körpertemperatur beobachtete glaubt, daß eine endgültige Festigung der Tagesperiodik erst mit dem zweiten Lebensjahr gegeben sei. Nach neueren, sorgfältigen Untersuchungen von Lange (37) über das tagesrhythmische Verhalten der kindlichen Pulsfrequenz "ist eine tagesperiodische Veränderung der Pulsfrequenz erstmals im zweiten Lebensmonat zu erkennen, die sich dann mit fortschreitendem Alter durch Intensivierung der Gipfel- und Tagwerte, sowie durch eine Vergrößerung der Amplitude weiter ausprägt und im Alter von 4 bis 13 Jahren ihre endgültige Form erreicht". Als Besonderheit der kindlichen Tagesrhythmik gegenüber der der Erwachsenen findet sich nach Angaben von Jundell (35), Kleitmann (36), Lange (37) und Rutenfranz, Hellbrügge und Niggeschmidt (38) eine allgemeine Vorverlegung der Tageskurve. Besonders bei jüngeren Kindern fällt der morgendliche Anstieg und der abendliche Abfall der Werte auf einen früheren Zeitpunkt als beim älteren Kind und beim Erwachsenen. So werden nach Lange (37) die Minimalwerte bei Säuglingen etwa um 21 Uhr, bei Kleinkindern um 1 Uhr und bei älteren Kindern zwischen 1 und 3 Uhr erreicht. Die Maximalwerte fallen in die Vormittagszeit zwischen 7 und 10 Uhr und in die Nachmittagszeit gegen 17 Uhr. Bei jüngeren Kindern tritt zusätzlich eine Mittagssenke zwischen 13 und 15 Uhr auf. Der am Tag beobachtete Doppelgipfel der Meßwerte ist beim Kind besonders deutlich ausgeprägt, während er beim Erwachsenen nur angedeutet ist.

Berichte oder Untersuchungen über einen tagesperiodischen Verlauf der Atemfrequenz im Kindesalter sind uns in der Literatur nicht bekannt geworden. Aus diesem Grund hielten wir es für angebracht, durch fortlaufende Messungen zu bestimmen, wie sich die Atemfrequenz des Kindes während des Tages und der Nacht verhält.

Durchführung der Untersuchungen

Zur Untersuchung wählten wir überwiegend Kinder im schulpflichtigen Alter, da zu diesem Zeitpunkt der kindliche Tagesablauf weitgehend normalisiert ist und nach Lange (34) eine endgültige Festigung der Tagesperiodik stattgefunden hat.

Die Untersuchungen wurden an 26 gesunden Kindern im Alter von 3 bis 15 Jahren in insgesamt 129 Tagesverläufen und 1917 Einzelmessungen durchgeführt. Die Kinder teilten wir dabei nach dem durchschnittlichen Tageswert der Atemfrequenz in zwei Altersgruppen unter, um signifikante Differenzen feststellen zu können. Gruppe I: von 3 bis 10 Jahre, 6 Monate; Gruppe II: von 10 Jahre 6 Monate - 15 Jahre.

Bei der Durchführung der Untersuchung legten wir vor allem Wert auf eine möglichst einfache und unkomplizierte Untersuchungsmethode, um die Kinder so wenig wie möglich zu beeinflussen oder während der Nacht aus dem Schlaf zu wecken. Darum wurden die Atemexcursionen des kindlichen Thorax einfach durch Auflegen der Hand zwischen dem epigastrischen Raum und einem Rippenbogen nachgefühlt und mit Hilfe einer Stoppuhr 3 Minuten lang genau gezählt; daraus berechneten wir dann die Atemfrequenz pro Minute. Die Kinder mußten sich 5 Minuten vor der Untersuchung auf ein Ruhebett legen, ebenso wurden die Messungen beim liegenden Kind vorgenommen.

Infolge der vielgestaltigen Zusammensetzung der Altersstufen mußte die Untersuchung an zwei verschiedenen Plätzen durchgeführt werden. Zur Untersuchung gelangten 18 gesunde Kinder des Städtischen Waisenhauses München und 9 rekonvaleszente Kinder der Universitäts-Kinderpoliklinik in München. Alle Kinder waren gesund und fieberfrei. 3 Kinder erkrankten während der Untersuchungen fieberhaft, wir führten die Messungen bei diesen Kindern zwar weiter durch, werteten die Ergebnisse aber getrennt aus.

Für jedes Kind legten wir ein eigenes Untersuchungsblatt an mit den persönlichen Daten und Meßwerten. Um die Abhängigkeit der Atemfrequenz von äußeren Bedingungen feststellen zu können, wurde neben der Atemfrequenzmessung genau notiert, ob das Kind schlief oder wachte, ob eine Mahlzeit vorausgegangen war und die Art der jeweiligen Beschäftigung. Außerdem wurde bei jedem Kind täglich die Rektaltemperatur gemessen.

Die täglichen Atemwerte zeichneten wir sofort in Kurven auf und konnten dadurch schon während der Untersuchungen den Tagesverlauf der Atemfrequenz bei den einzelnen Messungen verfolgen und Unterschiede in den einzelnen Altersgruppen feststellen.

Die Untersuchungen im Waisenhaus führten wir in der Zeit vom 2. 1. bis 7. 1. 1956 in den Weihnachtsferien der Kinder durch, in der Universitäts-Kinderpoliklinik in der Zeit vom 10. 2. bis 20. 2. 1956.

Um zu prüfen, ob die unterschiedlichen Umweltsbedingungen einen besonderen Einfluß auf den tagesrhythmischen Verlauf der kindlichen Atemfrequenz haben, führten wir außerdem Messungen in zwei verschiedenen Beobachtungsreihen durch, ähnlich den von Menzel (12, 13) angegebenen Versuchsbedingungen bei Erwachsenen. In der einen Beobachtungsreihe veränderten wir den gewohnten, durch das Milieu bestimmten Tagesablauf der Kinder in keiner Weise, während in der zweiten Beobachtungsreihe die Kinder auch am Tage strenge Bettruhe einhalten mußten und Nahrungs- und Flüssigkeitsmenge modifiziert war.

Die Untersuchungen der ersten Beobachtungsreihe erstreckten sich über 5 Tage und Nächte pro Kind und wurden regelmäßig alle 2 Stunden ausgeführt. Insgesamt wurde in dieser Beobachtungsreihe an 18 gesunden Kindern des Städtischen Waisenhauses ¹⁾ in München die Atemfrequenz in 88 Tag-Nachtverläufen beobachtet. Das Milieu des Waisenhauses hielten wir insofern für unsere Untersuchungen besonders geeignet, weil es nach dem Familienprinzip aufgebaut ist, Kinder beiderlei Geschlechts wachsen dort unter der Obhut einer "Familienmutter" in den Altersstufen vom Kleinkind bis zur Pubertät auf. Wir fanden daher in diesem Waisenhaus einen seit Jahren geregelten Tagesablauf vor, dessen Gleichförmigkeit durch die Familienaufgliederung der Kinder jedoch jeden Zwang entbehrt. Zur Untersuchung gelangten die Kinder zweier benachbarter Familien.

Der Tagesablauf ist in jeder Familie annähernd derselbe. Um 7, 30 Uhr wurden die Kinder geweckt, nach dem Frühstück um 8, 00 Uhr verbrachten sie den Vormittag mit leichten häuslichen Arbeiten und Spielen im Haus. Um 12, 00 Uhr fand das Mittagessen statt und nachmittags hielten sich die Kinder nach einer kurzen Mittagsruhe zumeist im Freien auf. Nach dem Abendessen um 18, 00 Uhr spielten sie noch etwas oder halfen im "Haushalt", nach 20, 00 Uhr gingen die Kinder regelmäßig zu Bett. Wir versuchten, die Kinder so wenig wie möglich in ihrem gewohnten Tagesablauf zu stören, denn die kurzfristigen Messungen (8 Minuten) bedeuten ja keinen entscheidenden Eingriff in den Tagesablauf. Während des Tages holten wir die Kinder für kurze Zeit von ihren jeweiligen Beschäftigungen Nachts wurden die Kinder nicht geweckt und fast immer schliefen sie so tief, daß die Messungen von ihnen nicht bemerkt wurden. Aus diesem Grund glauben wir, daß die in den jeweiligen Tages- und Nachtstunden ermittelten Werte der Atemfrequenz nicht durch äußere Eingriffe gestört waren, sondern im wesentlichen den physiologischen Bedingungen entsprachen.

In der zweiten Beobachtungsreihe gelangten 9 gesunde Kinder der Universitäts-Kinderpoliklinik München in insgesamt 41 Tagesverläufen im Abstand von einer Stunde zur Untersuchung. Die Messungen erstreckten sich auf die Zeit von 7 bis 21 Uhr. Auf fortlaufende Messungen während der Nacht konnten wir in dieser Beobachtungsreihe verzichten, da uns das Verhalten der kindlichen Atemfrequenz im Nachtschlaf hinreichend durch die ersten Untersuchungen bekannt war. Im Gegensatz zur ersten Beobachtungsreihe war der Tagesablauf dieser Kinder weitgehend nivelliert. Sie waren angehalten, während des Tages strenge Bettruhe einzuhalten, Nahrung und Flüssigkeit wurden in annähernd gleichen Mengen gegeben. Das Frühstück erhielten die Kinder um 7, 00 Uhr, das Mittagessen nahmen sie gegen 11 Uhr ein und das Abendbrot um 17 Uhr. Gegen 20 Uhr schliefen die Kinder bereits fest.

1) Dem Direktor des Städtischen Waisenhauses München, Herrn Dr. Mehringer sind wir für seine freundliche Unterstützung zu großem Dank verpflichtet.

Tabelle I

Beobachtungsgut

Alters gruppen	Lfd. Nr. des Kindes	N a m e	Geburts- datum	Alter	Gewicht (kg)	Ort d. Beob.	Zahl der unters. Ta- gesver.
I. unter 10 J., 6 Mon.	1.	Werner E.	5. 3.54	3	12,2	K ^x	5
	2.	Rosm. R.	30.10.50	6	19,2	K ^x	5
	3.	Brig. P.	19.11.48	8	21,9	W	4
	4.	Alfred S.	16. 5.48	8	21,0	K ^x	5
	5.	Gerh. Z.	4.12.47	9	18,3	K	5
	6.	Hansi F.	4. 5.47	9	30,8	W	5
	7.	Wastl F.	5.10.47	9	31,5	W	5
	8.	Hannel. B.	11.11.46	10	42,7	K	3
	9.	Christa M.	5.10.46	10	27,4	W	5
	10.	Günter M.	5.10.46	10	28,3	W	5
	11.	Werner D.	9. 3.46	10	28,7	W	5
	12.	Herbert S.	6. 3.46	10	35,7	W	5
	13.	Peter Chr.	13.11.45	11	29,4	W	5
II. über 10 J., 6 Mon.	14.	Gabriele H.	28. 4.45	11	45,9	W	5
	15.	Elka M.	25. 4.45	11	24,9	W	5
	16.	Gabriele W.	18. 9.44	12	42,2	K	5
	17.	Siegl. H.	16. 4.44	12	38,2	W	5
	18.	Brig. S.	5.12.43	13	24,0	K ^x	5
	19.	Franz U.	30. 8.43	13	36,1	W	5
	20.	Evi Sch.	9. 7.43	13	42,5	W	5
	21.	Edeltr. H.	22. 3.43	13	49,6	W	5
	22.	Erika S.	5. 2.43	13	35,7	K	3
	23.	Gerd B.	25.10.42	14	40,4	W	5
	24.	Walter B.	5. 5.42	14	43,1	K	5
	25.	Elfriede G.	25. 6.42	14	42,3	W	5
	26.	Gloria v. D.	22.11.41	15	46,0	W	5

K = Kinderklinik; W = Waisenhaus.

Die mit K^x bezeichneten Kinder waren fieberhaft, diese Ergebnisse wurden getrennt ausgewertet.

Die Kinder waren in die Klinik zum Teil wegen häuslicher Milieuschäden, zum Teil wegen anderer Untersuchungen stationär aufgenommen worden. Die Beobachtungsdauer war hier bei den einzelnen Kindern unterschiedlich, sie währte im Durchschnitt pro Kind 3 bis 5 Tage, da ständig Entlassungen bzw. Neuaufnahmen in die Klinik erfolgten.

In einzelnen setzten sich die beiden Beobachtungsreihen folgendermaßen zusammen:

Altersgruppen	Normaler Tagesablauf		Bettruhe	
	Zahl d. Kinder	Zahl d. Tagesverläufe	Zahl d. Kinder	Zahl d. Tagesverläufe
I. bis 10 J., 6 M.	11	36	3	12
II. über 10 J., 6 M.	9	43	3	11

Nähere Angaben über die einzelnen Kinder sind Tabelle I zu entnehmen. Die Kinder sind dort nach dem Alter geordnet mit laufenden Nummern versehen.

Untersuchungsergebnisse

Um das Verhalten der kindlichen Atemfrequenz in den verschiedenen Altersstufen zu ermitteln, errechneten wir zunächst von jedem Tag aus jeweils 24 Stunden die mittlere Atemfrequenz von jedem von uns untersuchten Kind. Diese Absolutwerte der mittleren Atemfrequenz sind in Tabelle II aufgeführt. Die einzelnen Tagesperioden sind auf der Tabelle oben, die laufende Nummer der Kinder, entsprechend Tabelle I, am Rande links angegeben.

Bei einer näheren Betrachtung der in Tabelle II angegebenen Atemzahlen fällt auf, daß im allgemeinen nur geringfügige Differenzen zwischen den Werten der einzelnen Kinder, ja selbst zwischen den beiden Altersgruppen zu erkennen sind. Ebenso kann die intraindividuelle Schwankungsbreite als relativ niedrig bezeichnet werden. Als durchschnittliche Atemfrequenz der beiden Altersgruppen errechneten wir für:

Gruppe I (unter 10 Jahre 6 Mon.)	18,5 Atemzüge/min	$\bar{x} \pm 3,49$
Gruppe II (über 10 Jahre 6 Mon.)	18,4 Atemzüge/min	$\bar{x} \pm 2,99$

Tabelle II

Mittlere Tagesatemfrequenz der untersuchten
Kinder an den fortlaufenden Beobachtungs-
tagen

Alters- gruppen	Lfd. Nr. d. Kindes	AM der fortlaufenden Tagesperioden (Atemfrequenz/min) ^x					Gesamt- durchschnitt /min
		1.	2.	3.	4.	5. Tagesperiode	
I. unter 10 J., 6 Mon.	1	27	27	27	29		27
	3	20	19	19	19		19
	5	17	19	18	18	18	18
	6	17	17	16	17	19	17
	7	18	21	20	20	23	20
	8	20	20	18			20
	9	21	19	19	19		20
	10	17	20	18	19	22	19
	11	21	22	22			22
	12	15	14	15	15	15	15
	13	20	21	20	21	22	21
II. über 10 J., 6 Mon.	14	21	21	20	21	22	21
	15	17	18	20	18		18
	16	19	22	20	22	22	21
	17	17	21	22	24	22	21
	19	17	17	21	20		19
	20	18	16	16	17	18	17
	21	13	17	17	16	15	17
	22	21	18	22	21		20
	23	17	20	20	21	20	20
	24	18	23	-			21
	25	18	19	18	19	17	18
	26	16	15	14	14	15	15

x AM = arithmetisches Mittel aus den absoluten Atemwerten

Bemerkenswert sind die verhältnismäßig hohen Atemwerte von Kind Nr. 1 (3 Jahre) mit einer durchschnittlichen Atemfrequenz von 27/min, die um 5 bis 7 Atemzüge/min frequenter ist als die der älteren Kinder. Den Gegenpol zu den Atemwerten des Kleinkindes bilden die Werte von Kind Nr. 26 (15 Jahre), mit einer mittleren Atemfrequenz von 15/min, die den bei Erwachsenen beobachteten Werten gleichzustellen ist.

Eine Ausnahme stellen die Atemzahlen von Kind Nr. 12 (9 Jahre) dar, einem kleinen Neger, der schon während der Messungen durch sein ruhiges und ausgeglichenes Wesen auffiel. Die Atemfrequenz dieses Kindes mit 15 Atemzügen/min hebt sich deutlich von der seiner Altersgenossen ab.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Differenz der mittleren Tagesatemfrequenz zwischen Gruppe I und II mit 0,1 Atemzügen/min nicht signifikant ¹⁾ ist. Eindeutig geht aus den Werten von Tabelle II hervor, daß im frühen Kindesalter die Atemwerte höher liegen als bei älteren Kindern. Zur Zeit der Pubertät nähern sich die Werte der kindlichen Atemfrequenz der der Erwachsenen. Die Streuwerte ¹⁾ beider Altersgruppen lassen eine größere Differenz erkennen, auf die in den folgenden Ausführungen näher eingegangen werden soll.

Einen Aufschluß darüber, wie sich die Atemfrequenz aller Kinder zu den einzelnen Tages- und Nachtstunden verhält, gibt Tabelle III mit den entsprechenden Kurven (Abb. 2). In der Tabelle ist die mittlere Atemfrequenz und die jeweilige Streuung von den einzelnen Kindern und Altersgruppen zu den verschiedenen Tagesstunden aufgeführt. Die Kinder sind auf der Tabelle links durch ihre fortlaufenden Nummern gekennzeichnet. Nach den Werten der letzten Kinder beider Altersgruppen erscheinen die Mittelwerte von Gruppe I und II, welche die Grundlage für die beiden zugehörigen Kurven darstellen.

Eine erste Durchsicht der Tabelle zeigt, daß die Atemfrequenz im Laufe der Tag-Nacht-Periode größere Schwankungen erkennen läßt. Die beobachteten Tagwerte liegen stets höher als die Nachtwerte. Ebenso ist deutlich zu erse

1) Die Berechnung der mittleren Atemfrequenz ($\bar{x}$) und Streuung (σ) erfolgte nach folgenden Formeln:

$$\bar{x} = \frac{(\sum x)}{n} \quad \begin{array}{l} (\sum x) = \text{Summe aller Einzelwerte } x_1, x_2 \dots x_n \\ n = \text{Anzahl der } x\text{-Werte} \end{array}$$
$$= \pm \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad \begin{array}{l} \sum (x - \bar{x}) = \text{Summe aller Differenzen zwischen den Einzel-} \\ \text{werten von } x \text{ und dem arith. Mittel } \bar{x}. \end{array}$$

σ - Berechnung nach dem fortlaufenden Summierungsverfahren durchgeführt.

hen, daß die inter- und intraindividuellen Schwankungen der Atemfrequenz während der Nacht stets geringer sind als am Tage. Die höchsten während des Tages beobachteten mittleren Werte sind 28,8 Atemzüge/min, die niedrigsten 15,0 Atemzüge/min. In der Nacht waren die höchsten durchschnittlichen Werte bei 19,8 Atemzüge/min, die niedrigsten bei 12,0 Atemzüge/min gelegen. Bei einem Vergleich aller Einzelwerte zu den verschiedenen Tagesstunden ist zunächst kein großer Unterschied erkennbar. Betrachtet man jedoch die Atemkurven von Abbildung 2, die die durchschnittliche Atemfrequenz und die entsprechenden Streuwerte von Gruppe I und II wiedergeben, so tritt der tagesrhythmische Verlauf der Atemfrequenz deutlich zutage und außerdem werden bei einer Gegenüberstellung der Atemkurven von Altersgruppe I und II bestimmte Differenzen sichtbar.

Im allgemeinen lassen sich über den tagesrhythmischen Verlauf der kindlichen Atemfrequenz folgende Gesetzmäßigkeiten erkennen: Einer tiefen Schwankung der Atemfrequenz zur Nacht stehen mehrere etwas unregelmäßige Tagesgipfel gegenüber. Ein erster Gipfel deutet sich zwischen 11 und 12 Uhr an. In den folgenden Nachmittagsstunden verläuft die Atemkurve in unregelmäßigem Zickzack, der in den Stunden zwischen 17 und 19 Uhr ein zweiter Tagesgipfel mit den Maximalwerten folgt. Bereits in der Zeit von 20 bis 22 Uhr fallen die Atemwerte erheblich ab, gegen 1 bis 2 Uhr erreichen sie den tiefsten Punkt der Nachtsenke. Ab 3 Uhr beginnt der morgendliche Anstieg der Atemfrequenz, der sich in den folgenden Vormittagsstunden weiter fortsetzt.

Bei einem Vergleich der Atemkurven beider Altersgruppen fällt zunächst die größere Amplitude der Tagesgipfel, wie auch der Nachtschwankung bei den jüngeren Kindern (Gruppe I) auf. Während sich bei den älteren Kindern (Gruppe II) nur ganz leicht ein Tagesmaximum gegen 17 Uhr mit 22,2 Atemzügen/min andeutet, ist ein Tagesgipfel bei Gruppe I mit Maximalwerten von 24,4 Atemzügen/min deutlich ausgeprägt. Die Verminderung der Atemfrequenz in den späteren Abendstunden ist bei den jüngeren Kindern sehr erheblich, innerhalb einer Stunde von 20 bis 21 Uhr sinkt die Atemfrequenz von 24,4 auf 16,7 Atemzüge/min ab. Im Gegensatz dazu setzt bei den Kindern der II. Gruppe der abendliche Abfall der Atemfrequenz eine Stunde später, also zwischen 21 und 22 Uhr ein. Dabei wird die Atemfrequenz von 20,5 auf 16,8 Atemzüge/min vermindert. Auch die Tiefstwerte der Nachtsenke sind in Gruppe II um eine Stunde, auf 2 Uhr verschoben, im Gegensatz zu Gruppe I, deren Minimalwerte bereits um 1 Uhr erreicht werden. Das Ansteigen der Atemfrequenz nach dem Erwachen am Morgen fällt in beiden Gruppen auf die Stunden zwischen 6 und 8 Uhr.

Interessant ist das Verhalten der Streuung in beiden Altersgruppen. So errechneten wir in Gruppe I während des Tages erheblich höhere Streuwerte als

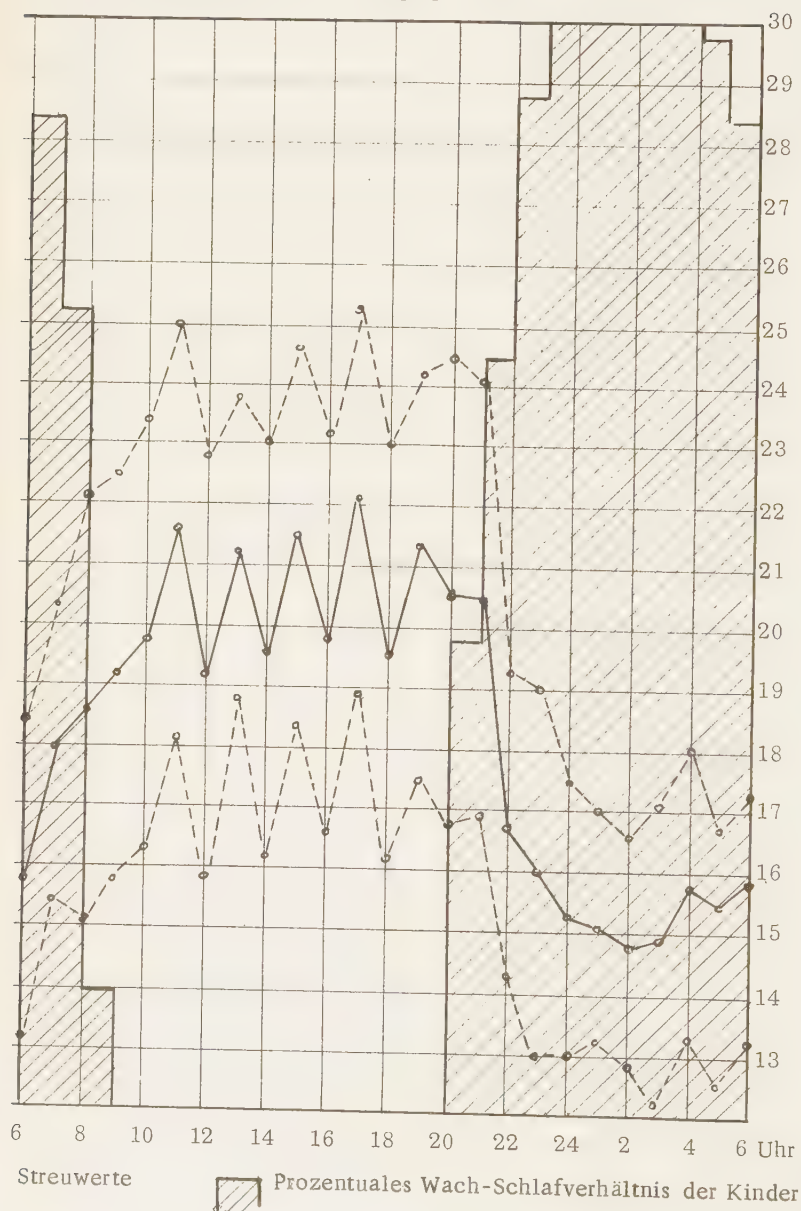
Tabelle III

Alters- gruppe	Lfd. Nr. d. Kind.						
		7 ⁰⁰	8 ⁰⁰	9 ⁰⁰	10 ⁰⁰	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰
I. unter 10 Jahre 6 Mon.	1	25,8		26,1			
	3	15,5		21,1		15,5	
	5	16,8	17,8	18,1			
	6	15,6		16,1		15,4	
	7		20,2		15,5		14,8
	8	17,3	19,0	18,1	15,0		
	9		18,2		13,7		13,7
	10		16,7		15,0		15,2
	11		17,3				16,6
	12	13,4		16,1		13,4	
	13	16,8		22,1		15,8	
Mittelwerte v. Gr. I:		16,7	18,2	18,1	14,8	15,0	15,0
Streuung: σ^2 + -		2,82	3,48	3,37	1,44	1,30	2,21
II. über 10 Jahre 6 Mon.	14		20,2		17,4		18,6
	15	19,8	19,2	21,1			
	16		20,2		16,0		16,7
	17	20,0		20,1		18,2	
	19	16,7		20,1		14,5	
	20		17,0		16,6	13,0	14,6
	21	15,6		14,1		13,4	
	22	22,2		21,1			
	23	15,4		20,1		14,4	
	24	19,0	23,5	12,5			
	25	16,2		17,1		15,0	
	26		14,6		12,8		12,4
Mittelwerte v. Gr. II:		18,0	18,6	19,1	15,7	15,0	15,8
Streuung: σ^2 + -		2,77	3,53	3,44	2,34	2,30	2,64

AM = arithmetisches
Mittel aus den abso-
luten Atemwerten

II. über 10 Jahre 6 Monate

ttelwerte der Atemfre. aus 59 Tagesperioden von 11 Kindern



in Gruppe II, in der Nacht dagegen konnten wir umgekehrt höhere Streuwerte bei den älteren Kindern ermitteln.

In Abbildung 2 sind neben den Atemkurven schraffierte Felder eingezeichnet, die den prozentualen Anteil der schlafenden Kinder zu den verschiedenen Tages- und Nachtstunden, das nicht schraffierte Feld darüber, den Anteil der wachenden Kinder darstellen. Bemerkenswert ist nun, daß eindeutig bei Eintritt des Schlafes sofort die Atemfrequenz vermindert wird. Während des tiefsten Schlafes zwischen 24 und 2 Uhr können auch die tiefsten Werte der Atemfrequenz beobachtet werden. In den frühen Morgenstunden, wo die Kinder nach unserer Beobachtung unruhig schliefen und durch das leiseste Geräusch geweckt werden konnten, zeichnet sich dieser leichte, unruhige Schlaf in einer Erhöhung der Atemfrequenz ab. Erst nach 8 Uhr, zu einer Zeit, in der nun die Kinder erwacht waren, setzt ein merkliches Ansteigen der Atemfrequenz ein. Ein ähnliches Verhalten lassen auch die Streuwerte erkennen. Denn in der Nacht, wenn die Kinder schlafen, ist die Streuung stets geringer als zu den übrigen Tageszeiten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Atemfrequenz im Laufe des Tages und der Nacht rhythmischen Schwankungen unterliegt, die eng an das Wach-Schlaf-Verhalten der Kinder gekoppelt zu sein scheinen. Die beobachteten Tagwerte der Atemfrequenz waren bei allen Kindern höher als die Nachtwerte. Ebenso war die Streuung während des Tages größer als in der Nacht. Bei den Kindern von Gruppe I (unter 10 Jahre 6 Mon.) deutet sich eine Verschiebung der Kurve nach links um etwa 1 Stunde an.

Um das Verhalten der Atemfrequenz auch auf ihre statistische Zuverlässigkeit zu prüfen, berechneten wir die mittlere Atemfrequenz und Streuung (vgl. Seite 23) und grenzten den Zufallsbereich mit Hilfe der t Funktion ab ¹⁾.

1) Die Signifikanzprüfung der Mittelwertdifferenzen erfolgte mit Hilfe der t-Funktion, wobei der Zufallsbereich durch die 3 σ -Grenze festgelegt ist.

$$t_3 = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \cdot \sqrt{\frac{n-2}{n}} ; x_1 \text{ und } x_2 \text{ sind die beiden Mittelwerte}$$

σ_1 und σ_2 der zugehörige Streubereich

n_1 und n_2 die Anzahl der jeweiligen Einzelwerte. $n = n_1 + n_2$.

Aus den errechneten t_3 -Werten bestimmten wir jeweils die prozentuale Wahrscheinlichkeit (p), nachdem der gefundene Unterschied noch als zufallsbedingt erwartet werden kann. Bei einem Freiheitsgrad $n = 120 - \infty$ muß:

$t_3 > 4,0$, $p < 0,1\%$ = sehr signifikant

$t_3 > 2,6$, $p < 1,0\%$ = signifikant

(Forts.nächste Seite unten)

Um eine Wahrscheinlichkeit von 99,8 % zu gewähren, wählten wir als Grenze den dreifachen σ -Bereich. Außerdem war es uns mit Hilfe der t-Funktion möglich, eine Signifikanzprüfung von Mittelwerten zwischen zahlenmäßig ungleich belegten Gruppen vorzunehmen. Um gleichzeitig auch tageszeitliche Unterschiede innerhalb einer Gruppe, wie auch zwischen den beiden Altersgruppen vornehmen zu können, berechneten wir die mittlere Atemfrequenz und Streuung für die Tagesperioden (von 7 bis 20 Uhr) und die Nachtperioden (von 21 bis 6 Uhr) getrennt.

In Tabelle IV ist die von uns errechnete mittlere Atemfrequenz und Streuung der Tag- und Nachtperiode beider Altersgruppen wiedergegeben. Aus der Tabelle ist zu ersehen, daß zwischen der Atemfrequenz der Tag- und Nachtperiode in Gruppe I und II eine "sehr signifikante" Differenz mit einer prozentualen Wahrscheinlichkeit $p < 0,1\%$ gegeben ist. Bei einer Gegenüberstellung der Tag- und Nachtwerte von Gruppe I und II konnte zwischen den Tagwerten eine "wahrscheinlich signifikante" Differenz der Atemfrequenz ermittelt werden, die Nachtwerte beider Gruppen wiesen dagegen keine signifikante Differenz auf.

In den in Tabelle V festgehaltenen Werten der mittleren Atemfrequenz und Streuung beider Altersgruppen versuchten wir die Veränderungen der Atemfrequenz zeitlich noch enger abzugrenzen. Deshalb teilten wir die Tagperiode in zwei vergleichbare Abschnitte unter, in eine Vormittagsphase von 7 bis 11 Uhr und eine Nachmittagsphase von 13 bis 17 Uhr. Ebenso teilten wir die Nachtperiode in einen Zeitabschnitt vor Mitternacht von 19 bis 23 Uhr und einen Zeitabschnitt nach Mitternacht von 1 bis 5 Uhr unter.

Dabei stellten wir fest, daß zwischen der Atemhäufigkeit der Vormittags- und Nachmittagsphase in Gruppe I und II eine "sehr signifikante" Differenz nachzuweisen ist, zwischen beiden Altersgruppen jedoch kein signifikanter Unterschied der Atemwerte zu ermitteln ist.

$t_3 > 1,8$, $p < 5,0\%$ = wahrscheinlich signifikant

$t_3 > 0,5$, $p < 10-99\%$ = nicht signifikant

Damit ist die Möglichkeit, auch im nicht signifikanten Bereich noch Abstufungen der Zufallsbedingtheit vorzunehmen, gegeben.

Auf Tabelle IV und den folgenden Tabellen wurden nur Mittelwertdifferenzen, bei denen $p < 0,1\%$ und $p < 1,0\%$ ist eingetragen als signifikante Differenzen, p-Werte, die $< 5,0\%$ als nicht signifikant.

Tabelle IV

Mittlere Atemfrequenz von Altersgruppe I und II zur Tages-
und Nachtzeit

Mittelwerte aus Messungen in 1stündigen Intervallen.
Signifikanzprüfung durch t_3 σ

Altersgruppe	Zahl der EM	Tagperiode (7 - 20 Uhr)		Differenz d. mittl. Tages- u. Nachatemfr. signifikant	Zahl der EM	Nachtperiode (21 - 6 Uhr)	
		Mittl. Atemfr. /min	Streuung σ			Mittl. Atemfr. /min	Streuung σ
I. unter 10 J., 6 Mon. 11 Kinder	389	20, 8	+ 4, 64 —	5, 6 ^x	193	15, 2	+ 1, 87 —
Differenz zw. Gruppe I u. II		(0, 7)				(0, 7)	
II. über 10 J., 6 Mon. 12 Kinder	407	20, 1	+ 3, 39 —	4, 2 ^x	236	15, 9	+ 2, 43 —

Werte mit x : Differenz signifikant
Werte in () : Differenz nicht signifikant

Bei einem Vergleich der Atemhäufigkeit zwischen den Zeitabschnitten vor und nach Mitternacht besteht in Gruppe I und II eine "sehr signifikante Differenz", zwischen beiden Altersgruppen wiederum keine signifikante Differenz.

Da wir aus den bisherigen Untersuchungsergebnissen klar ersehen konnten, daß das Schlaf-Wachsein der Kinder einen entscheidenden Einfluß auf das tagesrhythmische Verhalten der Atemfrequenz ausübt, untersuchten wir nun in zwei getrennten Beobachtungsreihen, bei unterschiedlichen Umweltbedingungen das Verhalten der Atemfrequenz. In der einen Beobachtungsreihe hielten die Kinder auch während des Tages Bettruhe ein, in der anderen Beobachtungsreihe war der durch das Milieu bestimmte normale Tagesablauf der Kinder in keiner Weise verändert. Diese Versuchsanordnung führten wir bei den Kindern beider Altersgruppen aus.

In Tabelle VI und der zugehörigen Abbildung 3 ist die mittlere Atemfrequenz und Streuung von Kindern mit normalem Tagesablauf und bei absoluter Bettruhe während des Tages von 7 bis 21 Uhr wiedergegeben. Wie Tabelle und Abbildung zeigt, ist die mittlere Atemfrequenz und Streuung in Gruppe I bei den Kindern mit absoluter Bettruhe (Beobachtungsreihe 2) zu allen Tagesstunden vermindert. Der rhythmische Tagesverlauf der Atemfrequenz ist jedoch in beiden Beobachtungsreihen annähernd derselbe. Die mittlere Atemfrequenz und Streuung beträgt in Gruppe I:

in Beobachtungsreihe 1	21,8 Atemzüge/min	$\pm$ 4,81
------------------------	-------------------	------------

in Beobachtungsreihe 2	18,8 Atemzüge/min	$\pm$ 2,07.
------------------------	-------------------	-------------

Die Differenz beider Atemwerte ist "sehr signifikant".

In Gruppe II ist eigenartiger Weise die mittlere Atemfrequenz in Beobachtungsreihe 1 und 2 etwa gleich hoch, obgleich die Schwankungen der Atemfrequenz zu den einzelnen Tagesstunden in beiden Altersgruppen unterschiedlich ist. Das heißt, bei den Kindern mit normalem Tagesablauf ist die Differenz der Atemwerte zwischen den einzelnen Stunden bedeutend größer als bei den bettlägerigen Kindern. Dadurch wurde paradoxerweise in Beobachtungsreihe 2 (Gruppe II) eine mittlere Atemfrequenz ermittelt, die mit 21,4 Atemzügen/min um 2,6 Atemzüge/min höher ist als die mittlere Atemfrequenz von Beobachtungsreihe 1 (Gruppe II). Die Streuung ist dagegen in Beobachtungsreihe 1 mit $\pm$ 3,66 erheblich größer als in Beobachtungsreihe 2 mit $\pm$ 2,30.

Das Verhalten der Atemfrequenz von Gruppe II in beiden Beobachtungsreihen läßt den Schluß zu, daß die unterschiedliche Versuchsanordnung den Tagesablauf der älteren Kinder nicht so entscheidend beeinflußt, wie es bei den jüngeren Kindern der Fall zu sein scheint.

Tabelle V

Mittelwerte der Atemfrequenz von Altersgruppe I und II zu vergleichbaren Tagesabschnitten

Signifikanzprüfung mittels t-Funktion σ

Altersgruppe	1 - 5 Uhr			7 - 11 Uhr			13 - 17 Uhr			19 - 23 Uhr		
	Zahl der Einzelme.	Mittl. Atemfr./min	Streuung σ	Zahl der Einzelme.	Mittl. Atemfr./min	Streuung σ	Zahl der Einzelme.	Mittl. Atemfr./min	Streuung σ	Zahl d. EM	Mittl. Atemfr./m	Streuung σ
I. unter 10 J., 6 M. 11 Kinder	89	14,6	+1,52 -1,52	141	19,2	+3,45 -3,45	136	21,3	+3,96 -3,96	129	18,9	+3,26 -3,26
Diff. zw. Gr. I u. II		(0,5)			(0,2)			(0,4)			(0,1)	
II. über 10 J., 6 M. 12 Kinder	125	15,1	+2,15 -2,15	147	19,4	+3,34 -3,34	142	20,9	+3,17 -3,17	145	19,0	+3,35 -3,35

Werte mit x: Differenz signifikant

Werte in (): Differenz nicht signifikant

Einschränkend möchten wir jedoch betonen, daß bei der geringen Anzahl der Kinder in den einzelnen Beobachtungsreihen, die ermittelten Befunde nicht als statistisch zuverlässig gelten können.

Außer dem wohl eingreifendsten Einfluß des Schlafes auf die Atemfrequenz kommen noch andere Faktoren für eine Atemveränderung in Betracht. So konnten wir stets nach einem Aufenthalt der Kinder im Freien sehr viel höhere Atemwerte beobachten als zur selben Zeit eines anderen Tages, an welchem die Kinder wegen ungünstiger Witterung im Hause spielen mußten. Aber auch bei lebhaften Spielen im Hause oder etwa nach einer "Balgerei" oder "Kissenschlacht" vor dem abendlichen Einschlafen konnten wir eine erhebliche Erhöhung der Atemwerte, in einzelnen Fällen sogar bis zu 34 Atemzüge/min beobachten, obgleich die Kinder vor der Untersuchung 5 Minuten lang auf einem Ruhebett lagen.

Um einen möglichen Einfluß der Mahlzeiten auf das Verhalten der Atemfrequenz festzustellen, führten wir zusätzlich für einige Tage 20 Minuten vor und nach den Mahlzeiten an mehreren Kindern Messungen durch. Bei den meisten Kindern wiesen die Atemwerte nach den Mahlzeiten keine Veränderung auf, bei einigen Kindern war eine geringfügige, jedoch nicht regelmäßige Beschleunigung der Atemfrequenz um 1 bis 3 Atemzüge/min zu beobachten. Ein sicherer Einfluß der Mahlzeiten auf das Verhalten der Atemfrequenz kann demnach nicht nachgewiesen werden.

Nicht unbedeutend scheint die Höhe der Atemfrequenz von der psychischen Konstitution des Kindes abhängig zu sein. Ein Beispiel mag das erläutern. So konnten wir bei zwei Kindern derselben Altersstufe (10 Jahre) äußerst unterschiedliche Atemwerte ermitteln. Das eine Kind (Nr. 12) zeigte ein ruhiges ausgeglichenes Wesen, es schlief auch während der Nacht ruhig und wachte bei den Messungen niemals auf. Seine mittlere Atemfrequenz betrug 15 Atemzüge/min. Das andere Kind (Nr. 11) war ein kleiner "nervöser Zappelphilipp", es schlief nachts unruhig und schreckte bei den Messungen mehrmals aus dem Schlaf. Seine mittlere Atemfrequenz betrug 23 Atemzüge/min. Zwischen den beiden gleichaltrigen Kindern ist demnach eine Differenz von 8 Atemzügen/min zu beobachten.

Da im Laufe der Untersuchungen einige Kinder fieberhaft erkrankten, konnten wir auch das Verhalten der Atemfrequenz im Fieber beobachten. Die Messungen dieser Kinder führten wir unter denselben Untersuchungsbedingungen wie bei den gesunden Kindern durch. Dabei konnten wir feststellen, daß die "Fieber-Atemkurve" denselben Tag-Nacht-Rhythmus zeigt, wie die Atemfrequenz gesunder Kinder, die einzelnen Werte aber zweifellos erheblich höher liegen, im Durchschnitt etwa um 6 bis 12 Atemzüge/min. Diese Beschleunigung der Atem-

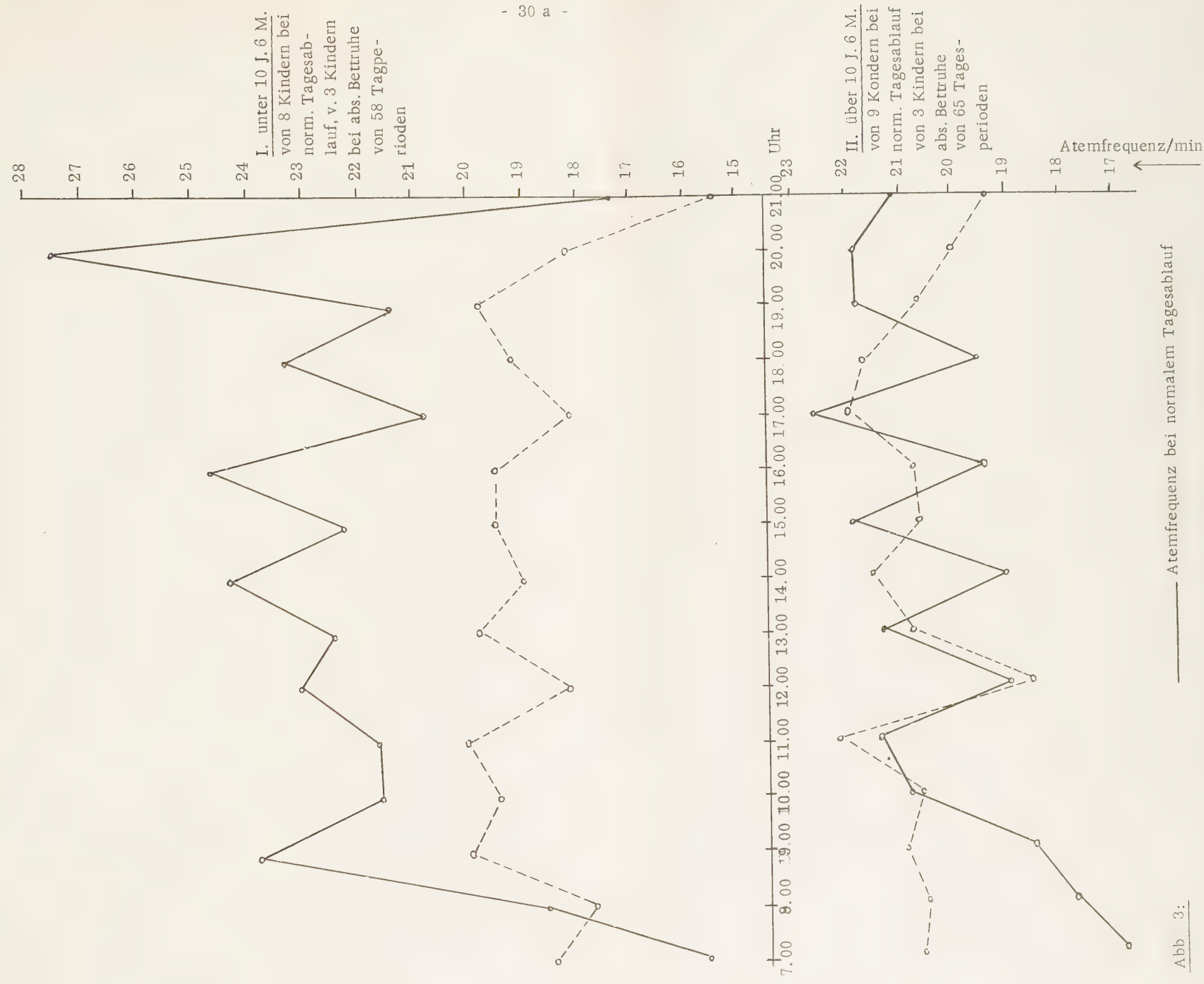


Tabelle VI

Aihe

Altersgruppe	7 ⁰⁰ 30	Durchschnittliche Atemfrequenz/min
Gr. I, Beob. 1 8 Kinder, 268 EM	15,6,3	21,8
Streuung: σ $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$	2,99 41	4,81
Gr. I, Beob. 2 3 Kinder, 152 EM	18,4,4	18,8
Streuung: σ $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$	2,91 85	2,07
Diff. d. Atemwerte zw. Beob. 1 u. 2 Gruppe I	2,80 90	3,0 ^x
Gr. II, Beob. 1 9 Kinder, 320 EM	16,8,2	18,8
Streuung: σ $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$	1,19 55	3,66
Gr. II, Beob. 2 3 Kinder, 137 EM	20,6,4	21,4
Streuung: σ $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$	1,72 44	2,30
Diff. d. Atemwerte zw. Beob. 1 u. 2 Gruppe II	3,80 80	2,6 ^x

Beobachtungsreihe 1: Kin

Beobachtungsreihe 2: Kin

EM = Einzelmessungen, 1

Tabelle VI

Aihe

Altersgruppe	7 ⁰⁰ 00	Durchschnittliche Atemfrequenz/min
Gr. I, Beob. 1 8 Kinder, 268 EM	15,6,3	21,8
Streuung: σ $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$	2,9941	4,81
Gr. I, Beob. 2 3 Kinder, 152 EM	18,4,4	18,8
Streuung: σ $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$	2,9185	2,07
Diff. d. Atemwerte zw. Beob. 1 u. 2 Gruppe I	2,8090	3,0 ^x
Gr. II, Beob. 1 9 Kinder, 320 EM	16,8,2	18,8
Streuung: σ $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$	1,1955	3,66
Gr. II, Beob. 2 3 Kinder, 137 EM	20,6,4	21,4
Streuung: σ $\begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix}$	1,7244	2,30
Diff. d. Atemwerte zw. Beob. 1 u. 2 Gruppe II	3,8080	2,6 ^x

Beobachtungsreihe 1: Kin

Beobachtungsreihe 2: Kin

EM = Einzelmessungen, x

frequenz kann auch deutlich aus der folgenden Abbildung 4 ersehen werden, die die "Fieberatemkurve" eines 10jährigen Kindes im Vergleich zu einer Atemkurve desselben Kindes im gesunden Zustand während eines Tages und einer Nacht zeigt.

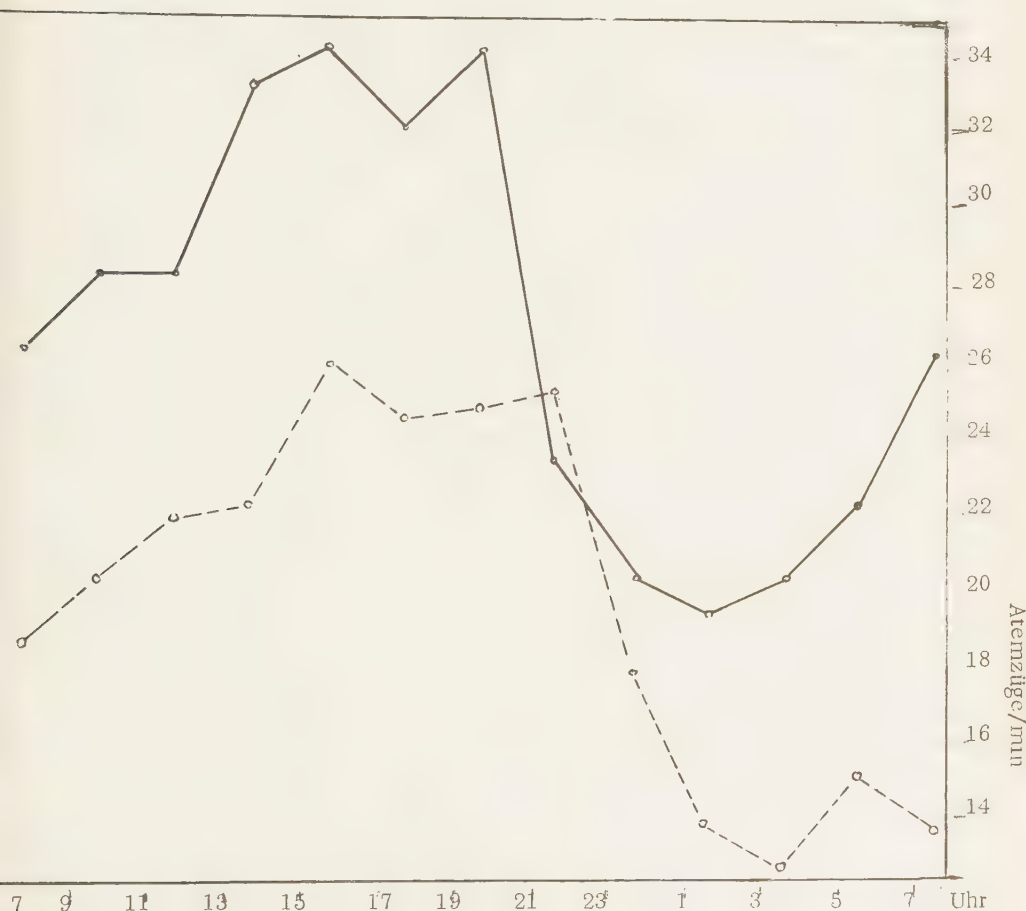


Abb. 4

- Mittlere Atemfrequenz eines fieberhaften 10jährigen Kindes während eines Tages und einer Nacht
- - - Mittlere Atemfrequenz eines gesunden 10jährigen Kindes während eines Tages und einer Nacht

Erörterung der Ergebnisse

Über die tagesrhythmischen Schwankungen der kindlichen Atemfrequenz konnten wir in der Literatur keine näheren Berichte oder Untersuchungsergebnisse vorfinden.

So haben wir uns in der folgenden Erörterung der von uns ermittelten Untersuchungsergebnisse vor allem mit den in der Literatur niedergelegten Berichten über tagesrhythmische Schwankungen der Atemfrequenz bei Erwachsenen und vergleichsweise mit bekannt gewordenen Ergebnissen über tagesrhythmische Veränderungen anderer Körperfunktionen im Kindesalter auseinanderzusetzen.

Von vielen Autoren wie Gregor (25), Engel (22), Vogt (33), Vormittag (27) und Püschel und Brock (24) wird des öfteren auf die unterschiedliche Höhe der beobachteten Atemfrequenz im Kindes- und besonders im Kleinkindesalter hingewiesen. Alle Autoren sind übereinstimmend der Auffassung, daß man wegen der beträchtlichen Schwankungen keine allzu großen Schlüsse aus der jeweiligen Atemzahl ziehen könne. So schreibt z. B. Vogt (33): "In Lehr- und Handbüchern findet man Angaben über die Atemzahl des gesunden Kindes, die in weiten Grenzen schwanken. Diese großen Schwankungen in den Angaben der einzelnen Untersucher erklären sich zwanglos daraus, daß sich der Feststellung der Atemzahl Schwierigkeiten in den Weg stellen, die sich nicht alle gleichmäßig zu überwinden verstanden haben." Nach Vogt (33) sind die unterschiedlichen kindlichen Atemfrequenzwerte vor allem auf die einzelnen Untersucher und auf die verschiedenen Meßgeräte zurückzuführen, außerdem spiele der schlafende oder wache Zustand der Kinder eine gewisse Rolle. Ähnlich sind die Beobachtungen von Püschel und Brock (24), wonach die Atemfrequenz besonders bei Untersuchungen wacher Kinder differiere. Auch habe einen gewissen Einfluß auf die Höhe der Atemzahl die bei der Untersuchung verwendete Apparatur.

Während im allgemeinen keiner der angeführten Autoren angegeben hat, zu welcher Tageszeit die Untersuchungen vorgenommen wurden und ob bei wiederholten Untersuchungen stets dieselbe Tageszeit eingehalten wurde, gibt Vogt (33) bei allen von ihm untersuchten Kindern an, ob sie wachten oder schliefen, ob die Messungen während des Tages oder während der Nacht stattfanden. Vormittag (27) dagegen hat meistens angegeben, zu welcher Tagesstunde die Messungen der kindlichen Atemfrequenz erfolgten, führte jedoch keine fortlaufenden Untersuchungen durch. Über seine Beobachtungen schreibt er: "Auf diese Weise konnte bei ungestörtem Schlaf ausnahmslos festge-

stellt werden, daß die Atemzahl langsam allmählich tiefer absank, um nach einer gewissen Zeit, offensichtlich nach Überschreiten der größten Schlafiefe wieder höhere Werte anzunehmen."

Diese sehr treffende Beobachtung von Vormittag (27) der rhythmischen Veränderungen der Atemfrequenz während der Nacht stimmt voll mit den von uns ermittelten Ergebnissen überein. So konnten auch wir in den späten Abendstunden eine erhebliche Verminderung der Atemfrequenz beobachten, deren tiefste Senke in den Stunden zwischen 1 und 2 Uhr gelegen war, während in den folgenden Stunden bereits wieder eine Beschleunigung der Atemfrequenz eintrat.

Aber auch im Laufe des Tages zeigt die kindliche Atemfrequenz rhythmische Schwankungen, wie aus unseren Untersuchungsergebnissen klar hervorgeht. Die bereits in den frühen Morgenstunden erfolgte Beschleunigung der Atemfrequenz setzt sich in den folgenden Vormittagsstunden weiter fort und strebt in der Zeit von 12 bis 13 Uhr einem ersten Gipfel zu, die Maximalwerte werden zwischen 17 und 19 Uhr beobachtet. Unsere Beobachtungen stimmen weitgehend mit den Ergebnissen von Lange (37), Rutenfranz, Hellbrügge und Niggeschmidt (38) überein, die im Verlauf der kindlichen Pulsfrequenz und des elektrischen Hautwiderstandes bei 11jährigen Schulkindern einen ähnlichen tagesrhythmischen Ablauf erkennen konnten. So stellten die genannten Autoren ebenso eine tiefe Nachtsenke und das morgendliche Ansteigen der Werte fest und ebenfalls parallel mit unseren Ergebnissen zwei Tagesgipfel zwischen 10 und 11 Uhr und zwischen 17 und 19 Uhr. Im Gegensatz dazu konnten wir jedoch die von Lange (37), Rutenfranz, Hellbrügge und Niggeschmidt (38) angegebene Mittagssenke nicht beobachten. Die Ursache für diese Differenz der Ergebnisse kann durch die relativ kleine Zahl der von uns untersuchten Kinder bedingt sein, wahrscheinlich jedoch durch die größere Abhängigkeit der Atemfrequenz von äußeren Einflüssen.

Die Frage ob der tagesrhythmische Gang der Atemfrequenz im Sinne von Jores (9) als "echter Rhythmus", das heißt als ein von Schlaf, Ruhe und Bewegung unabhängiger Rhythmus zu bezeichnen sei, oder nach Jores (9) nur in die Reihe der eng an den Schlaf "gekoppelten Rhythmen" einzugliedern sei, glauben wir anhand unserer Untersuchungsergebnisse dahingehend beantworten zu können, daß die Tagesperiodik der Atemfrequenz wohl als gekoppelter Rhythmus aufzufassen sei. Um ein abschließendes Urteil über diese Frage geben zu können, werden umfassendere Untersuchungen notwendig sein.

Sicher konnten wir bei unseren Untersuchungen feststellen, daß das Schlaf-Wachsein der Kinder einen entscheidenden Faktor im Verhalten der Atemfrequenz, zumindest im Nachtschlaf darstellt.

So läßt sich die von uns beobachtete Linksverschiebung der Atemkurve, die übereinstimmend mit unseren Ergebnissen auch bei Untersuchungen anderer kindlicher Tagesrhythmen von mehreren Autoren angegeben wird, dahingehend deuten, daß vor allem bei jüngeren Kindern der nächtliche Schlaf eher einsetzt, als dies bei Erwachsenen oder älteren Kindern der Fall ist.

Im Nachmittagsschlaf der Kleinkinder konnten wir jedoch nur eine geringe Atemverminderung beobachten, ähnliches berichtet Lange (37) über das Verhalten der kindlichen Pulsfrequenz im Nachmittagsschlaf.

Um das Verhalten der kindlichen Atemfrequenz durch veränderte Umweltbedingungen zu beobachten, führten wir getrennte Messungen bei bettlägerigen Kindern und bei Kindern mit normalem Tagesablauf während des Tages von 7 bis 21 Uhr zusätzlich durch. Dabei konnten wir jedoch nur bei den jüngeren Kindern einen signifikanten Unterschied zwischen den Atemwerten der Kinder in Ruhe und bei normalem Tagesablauf ermitteln, während die älteren Kinder seltsamerweise ein umgekehrtes Verhalten der Atemfrequenz erkennen ließen. Da die Zahl der beobachteten Kinder aber zu geringfügig ist um allgemeingültige Schlüsse zuzulassen, kann die Frage, ob der tagesrhythmische Verlauf der Atemfrequenz bei bettlägerigen gesunden Kindern verändert ist, nicht mit Sicherheit beantwortet werden.

Bei einer Gegenüberstellung der von uns beobachteten tagesrhythmischen Verlaufsform der Atemfrequenz im Kindesalter und der der Erwachsenen nach Untersuchungen von Hildebrandt (8) fällt zunächst die geringere Amplitude, sowohl der Tagesgipfel wie auch der Nachtschwankung auf. Ebenso ist anhand beider Kurven die schon erwähnte Linksverschiebung der kindlichen Atemfrequenz deutlich zu erkennen. Während bei Erwachsenen die Minimalwerte zwischen 2 und 4 Uhr beobachtet werden, fällt der tiefste Wert der kindlichen Atemfrequenz in die Zeit von 1 bis 2 Uhr. Ebenso ist der morgendliche Anstieg der Atemwerte bei den Kindern um 2 bis 3 Stunden im Gegensatz zu den Atemwerten der Erwachsenen vorverlegt. Die Gipfelwerte des Tages fallen dagegen bei Erwachsenen und Kindern etwa auf dieselben Tagesstunden.

Die mittlere von Hildebrandt (8) bei Erwachsenen beobachtete Atemfrequenz beträgt 15 bis 20 Atemzüge/min. Nach unseren Beobachtungen ist die Atemfrequenz bei jüngeren Kindern bis zu 11 Jahren um 4 bis 8 Atemzüge/min beschleunigter, mit dem Eintritt in die Pubertät kommt die kindliche Atemfrequenz der der Erwachsenen weitgehend gleich und auch die tagesrhythmische Verlaufsform der kindlichen Atemfrequenz nähert sich zu dem Zeitpunkt der der Erwachsenen.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst ein kurzer Überblick über die Physiologie der Atmung, speziell über die Entwicklung der Atemfunktion von der Geburt bis zur Pubertät, unter besonderer Berücksichtigung der Atemfrequenz gegeben.

Im Hauptteil wird über die tagesrhythmischen Schwankungen der Atemfrequenz im Kindesalter anhand eigener Untersuchungen berichtet.

Die Untersuchungen wurden an 26 gesunden Kindern im Alter von 3 bis 15 Jahren in insgesamt 1917 Einzelmessungen und 129 Tagesverläufen durchgeführt. Die Messung der Atemfrequenz erfolgte in 1 bis 2ständigen Intervallen, durch Beobachtung der Atemexcursion am Thorax.

Hierbei wurde beobachtet, daß die Atemfrequenz während des Tages und der Nacht größeren Schwankungen unterliegt. Einer tiefen Nachtsenke standen während des Tages mehrere unregelmäßige Gipfel gegenüber, die Maximalwerte wurden stets zwischen 17 und 19 Uhr beobachtet.

Die Frequenz der Atmung wird vor allem durch das Alter der Kinder bestimmt. Je jünger das Kind ist, um so häufiger folgen die Atemzüge/min. Mit dem Eintritt in die Pubertät nähern sich die Werte der Atemfrequenz denen der Erwachsenen.

Außerdem wurde festgestellt, daß ein Einfluß des Schlafes auf die Atemfrequenz besteht. Demnach scheint die Wach-Schlaf-Verteilung der Kinder in einem engen Verhältnis zum tagesrhythmischen Verlauf der Atemfrequenz zu stehen.

Ein Einfluß der Mahlzeiten auf die Atemfrequenz konnte nicht sicher nachgewiesen werden.

Literaturverzeichnis

- 1) Rein, H. Physiologie des Menschen, 167 (1955)
- 2) Landois-Rosemann
Physiologie des Menschen, 214 (1950)
- 3) Hess, R. Die Regulation der Atmung, Leipzig (1931)
- 4) Basler
zit. nach Landois-Rosemann
- 5) Gujer, H. Der Einfluß von Schlaf, Ruhe und verstärkter
Lungenventilation auf das Pneumotachogramm.
Pflügers Arch. 218, 698 (1928)
- 6) Hildebrandt, G.
Über den Tagesgang der Atemfrequenz.
Zschr.f.kl.Med. 150, 433 (1953)
- 7) Günther, H. Deutsches Archiv kl.Med. 197, 296 (1950)
- 8) Hildebrandt, G.
Über die rhythm. Funktionsordnung v. Puls
und Atmung. Zschr.kl.Med. 150, 445 (1953)
- 9) Jores, A. Physiologie und Pathologie der 24-Stunden-
Rhythmik des Menschen.
Erg.inn.Med.u.Kinderhk. 48, 574 (1935)
- 10) Hess, R. Untersuchungen über das Ursprungsgebiet der
primären Atemrhythmik.
Pflügers Arch. 259, 228 (1940)
- 11) Völker, H. Über die tagesperiodischen Schwankungen
einiger Lebensvorgänge des Menschen.
Pflügers Arch., 215, 43 (1937)
- 12) Menzel, W. Zum Wesen der Tagesrhythmik.
Ärztl. Wschr. 705 (1947)
- 13) Menzel, W. Der 24-Stunden-Rhythmus des menschlichen
Blutkreislaufes. Erg.inn.Med.u.Kinderhk.
61, 9 (1942)
- 14) Smith, C. A. Amer. Med. Ass. 1 - 32 (1946)

- 15) Beclard zit. nach Smith C.A.
- 16) Weber zit. nach Smith C.A.
- 17) Ahlfeld, F. Die intrauterine Tätigkeit der Thorax- und
Zwerchfellmuskulatur, intrauterine Atmung.
Mschr.f.Geburtsh.u.Gynäkol. 21, 143 (1905)
- 18) Ehrhardt, K. Atmet das Kind im Mutterleib?
Münchn.Wschr. 86, 915 (1939)
- 19) Reiffenscheid, W.
Röntgenograph. Nachweis der intrauterinen Atem-
bewegungen d. Fetus.
Zentralbl.f.Gynäkol. 63, 146 (1939)
- 20) Becker zit. nach Smith C.A.
- 21) Eastman, N.J. zit. nach Smith C.A.
- 22) Engel, St. Handbuch der Kinderheilkunde, Pfaundler -
Schlossmann 3, 507 (1923)
- 23) Engel, St. Die Lunge des Kindes.
Stuttgart, 1950
- 24) Püschel und Brock
Biologische Daten für den Kinderarzt, Atmungs-
apparat. 1, 409 (1954)
- 25) Gregor, K. Untersuchungen über die Atmung des Kindes.
Arch.f.Kinderhk. 213 (1902)
- 26) Feer, E. Lehrbuch der Kinderheilkunde, Stuttgart (1955)
- 27) Vormittag, St. Untersuchungen über die Atmung des Kindes.
Maschr.f.Kinderhk., 58, 249 (1933)
- 28) Püschel, E. Über die Spirometrie und ihre Ergebnisse im Kindes-
alter. Erg.inn.Med.u.Kinderhk. 61, 878 (1942)
- 29) Fanconi-Wallgren
Lehrbuch der Pädiatrie (1954)
- 30) Kirchhoff, W.
Kinderärztl. Praxis, 5, 156 (1954)
- 31) Deming, J. and J. P. Hanner
Respiration in infancy. Amer.I.Diss.Childr. 51, 823
(1936)

- 32) Rominger und Eckstein
Zur Physiologie und Pathologie der Atmung.
Zschr.f. Kinderhk. 28, 1 (1928)
- 33) Vogt, H.
Die Atemzahl des gesunden Kindes.
Mschr.f. Kinderhk. 42, 460 (1928)
- 34) Deming and Hanner
zit. nach Smith C.A.
- 35) Jundell, J.J.
Jahrbuch der Kinderheilkunde, 59, 591 (1904)
- 36) Kleitmann, N.
Amer.J.Physiol., 148, 19 (1937)
- 37) Lange, J.
Über die Entwicklung einer Tagesper. versch.
Körperfunkt. unter besonderer Berücksichtigung
d. Pulsfrequenz, d. Wach-Schlafvert. u. d. Kör-
pertemperatur. Diss. München, 1957
- 38) Rutenfranz, Hellbrügge und Niggeschmidt
Über die Tagesrhythmik des elektrischen Haut-
widerstandes bei 11jährigen Kindern.
Zschr.f. Kinderhk., 78, 144 (1956)

An dieser Stelle darf ich dem Direktor der Universitäts-Kinderpoliklinik in München, Herrn Professor Dr. med. Weber, für die Übernahme des Referates dieser Arbeit danken.

Dem wissenschaftlichen Oberassistenten der Kinder-Poliklinik der Universität München, Herrn Privatdozenten Dr. med. Hellbrügge, danke ich herzlich für die Überlassung des Themas und die mir während der Arbeit erwiesene Unterstützung.

Herrn Dr. med. Dr. phil. Rutenfranz von der physiologischen Abteilung des Max-Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie in Dortmund (Leiter: Prof. Dr. med. O. Graf) verdanke ich einen Teil der statistischen Auswertung meines Beobachtungsmaterials.

Lebenslauf

Ich, Rosa-Maria Krug, wurde am 26.11.1932 als Tochter des Textilkaufmanns Anton Krug und seiner Ehefrau Maria Krug in München geboren.

Von 1939-1943 besuchte ich die Volksschule in Dachau, die Luise-Oberschule für Mädchen in München von 1943-1945 und das Humanistische Gymnasium der Benediktiner-Abtei Scheyern von 1946-1952. Im Juli 1952 legte ich dort die Reifeprüfung ab.

Das Medizinstudium begann ich im Wintersemester 1952 an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München. Die ärztliche Vorprüfung bestand ich hier im Februar 1955. Ich beabsichtige im Frühjahr 1958 in München das Medizinische Staatsexamen abzulegen.

